

(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

5. März 2015 (05.03.2015)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer

WO 2015/027975 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
C22C 9/00 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2014/000435

(22) Internationales Anmeldedatum:
29. August 2014 (29.08.2014)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2013 014 501.5
2. September 2013 (02.09.2013) DE

(71) Anmelder: KME GERMANY GMBH & CO. KG
[DE/DE]; Klosterstrasse 29, 49074 Osnabrück (DE).

(72) Erfinder: SCHULZE, Hark; Holzheider Weg 30, 49205
Hasbergen (DE). RODE, Dirk; Lion-Feuchtwanger-
Strasse 5, 49088 Osnabrück (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM,

DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, 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, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,
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, RW, SD, SL, ST,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG,
KZ, 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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

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

(54) Title: COPPER ALLOY

(54) Bezeichnung : KUPFERLEGIERUNG

(57) Abstract: The invention relates to a copper alloy which is constituted of iron (Fe) 0.02 - 4.00, phosphorous (P) 0.01 - 0.50 in % by weight, and at least one element from the following group; sulphur (S) 0.10 - 0.80, manganese (Mn) 0.01 - 0.80, tellurium (Te) 0.10 - 1.00, wherein the alloy is exempt of beryllium (Be) and lead (Pb) and selectively contains aluminum (Al) max. 0.50, chromium (Cr) max. 0.50, magnesium (Mg) max. 0.50, zirconium (Zr) max. 0.50, zinc (Zn) max. 2.50, tin (Sn) max. 2.50, boron (B) max. 0.50, silver (Ag) max. 0.50, the remainder being copper (Cu) and impurities resulting from fusion.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft eine Kupferlegierung, mit Anteilen in Gewicht-% an Eisen (Fe) 0,02 - 4,00, Phosphor (P) 0,01 - 0,50, und wenigstens einem Element aus nachfolgender Gruppe Schwefel (S) 0,10 - 0,80, Mangan (Mn) 0,01 - 0,80, Tellur (Te) 0,10 - 1,00, wobei die Legierung jeweils frei ist von Beryllium (Be) und Blei (Pb) und wahlweise Aluminium (Al) max. 0,50, Chrom (Cr) max. 0,50, Magnesium (Mg) max. 0,50, Zirkon (Zr) max. 0,50, Zink (Zn) max. 2,50, Zinn (Sn) max. 2,50, Bor (B) max. 0,50, Silber (Ag) max. 0,50 enthält, Rest Kupfer (Cu) sowie erschmelzungsbedingte Verunreinigungen.



WO 2015/027975 A2

Kupferlegierung

Die Erfindung betrifft eine Kupferlegierung mit den Merkmalen im Oberbegriff von Patentanspruch 1 sowie die Verwendung einer solchen Kupferlegierung gemäß den Merkmalen von Patentanspruch 7 oder 8.

Als an sich weiches Metall wird Kupfer insbesondere aufgrund seiner guten Legierbarkeit geschätzt. Kupferlegierungen mit beispielsweise verbesserten Festigkeitseigenschaften werden auch dort eingesetzt, wo hohe Anforderungen an die Strom- und/oder Wärmeleitfähigkeit sowie Korrosionsbeständigkeit gestellt werden. Es sind daher zumeist mehrere Anforderungen gleichzeitig zu erfüllen.

Da Kupfer mit Ausnahme von Silber den kleinsten elektrischen Widerstand aller bekannten Metalle aufweist, werden Kupferlegierungen schon allein wegen der Häufigkeit von Kupfer und dem damit verbundenen Preisvorteil gegenüber Silber bevorzugt und für elektrische Kontaktbauteile verwendet.

Zu solchen Kontaktbauteilen zählen beispielsweise mechanisch miteinander verbindbare sowie trennbare Verbindungselemente sowie Quetschverbindungen.

Kupferlegierungen wie beispielsweise $\text{CuFe}_{0,1}\text{P}$ (C19210) und CuFe_{2}P (C19400) werden vorrangig für Steckkontakte eingesetzt, da diese eine hohe Mischkristallverfestigung und mittlere Relaxationsbeständigkeit aufweisen. Demgegenüber weisen die vorgenannten Kupferlegierungen eine schlechte Zerspanbarkeit auf, so dass sie sich nicht oder nur schlecht für die Herstellung von Kontaktbauteilen durch spanende Verarbeitung eignen.

- 2 -

Eine gute Zerspanbarkeit wird demgegenüber bei der Verwendung bekannter Kupferlegierungen wie CuSP, CuTeP oder CuSMn erreicht. Da es sich hierbei um nicht aushärtbare Legierungen mit sehr geringfügiger Mischkristallverfestigung handelt, besitzen diese allerdings eine nur geringe Relaxationsbeständigkeit.

Die im Stand der Technik verwendeten Legierungen beinhalten zudem mitunter Bestandteile an Blei (Pb) oder Beryllium (Be), so dass sich diese Kupferlegierungen bereits aufgrund der bekannten Toxizität dieser Legierungselemente nicht für alle Anwendungen bedenkenlos einsetzen lassen.

Vor diesem Hintergrund bietet die Zusammensetzung von Kupferlegierungen sowie deren Verwendung in Bezug auf deren jeweilige Materialeigenschaften noch Raum für Verbesserungen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine sowohl relaxationsbeständige als auch zerspanbare Kupferlegierung zur Verfügung zu stellen, welche frei ist von den Legierungselementen Beryllium und Blei. Weiterhin soll die Verwendung einer solchen relaxationsbeständigen und zerspanbaren sowie blei- und berylliumfreien Kupferlegierung für daraus herzustellende Produkte aufgezeigt werden.

Die Lösung dieser Aufgabe besteht nach der Erfindung in einer Kupferlegierung mit den Merkmalen von Patentanspruch 1 sowie deren Verwendung mit den Merkmalen gemäß Patentanspruch 7 oder 8.

Wenn es nachfolgend nicht anders angegeben ist, verstehen sich alle Angaben zu den Legierungselementen in Gewichtsprozent.

Es wird eine Kupferlegierung vorgeschlagen, mit Anteilen in Gewicht-% an

Eisen (Fe)	0,02 - 4,00
Phosphor (P)	0,01 - 0,50

- 3 -

Um die geforderte Zerspanbarkeit zu erreichen, ist zur Bildung spanbrechender Phasen weiterhin wenigstens ein Element aus der nachfolgenden Gruppe enthalten:

Schwefel (S)	0,10 - 0,80
Mangan (Mn)	0,01 - 0,80
Tellur (Te)	0,10 - 1,00

Die Legierung ist zur Vermeidung toxischer Eigenschaften frei von Beryllium (Be) und Blei (Pb).

Je nach verwendeter Basis für die Kupferlegierung kann folglich Schwefel (S) oder Mangan (Mn) oder Tellur (Te) allein oder in Kombination in den angegebenen Grenzen enthalten sein.

Wahlweise enthält die Kupferlegierung zur Verbesserung der jeweils geforderten Eigenschaften:

Aluminium (Al)	max. 0,50
Chrom (Cr)	max. 0,50
Magnesium (Mg)	max. 0,50
Zirkon (Zr)	max. 0,50
Zink (Zn)	max. 2,50
Zinn (Sn)	max. 2,50
Bor (B)	max. 0,50
Silber (Ag)	max. 0,50.

Bei der vorgenannten Gruppe handelt es sich um optionale Legierungselemente. Sie können bei Bedarf einzeln oder in Kombination in den angegebenen Grenzen enthalten sein.

- 4 -

Die Legierung enthält als Rest Kupfer (Cu) und kann übliche, erschmelzungsbedingte Verunreinigungen aufweisen.

Die erfindungsgemäße Kupferlegierung vereint eine gute Zerspanbarkeit sowie hohe Relaxationsbeständigkeit. Insbesondere in Bezug auf Blei (Pb) wurde festgestellt, dass dessen Zugabe von maximal 0,1 % die Zerspanbarkeit nicht verbessert. Bei der Zugabe von Blei überwiegt vielmehr die Warmrissgefahr durch Bleianschmelzungen auf den Korngrenzen der Kristallite. Das ist bemerkenswert, denn bei den im Stand der Technik bekannten Kupferwerkstoffen ist die Verbesserung der Zerspanbarkeit in der Regel auf die Zugabe von Blei (Pb) in metallischer Form zurückzuführen.

Phosphor (P) bildet mit Eisen (Fe) Eisenphosphidausscheidungen. Eisen (Fe) dient generell zur Erhöhung der Korrosionsbeständigkeit der Kupferlegierung.

Mit der Zugabe von Schwefel und/oder Mangan (Mn) und/oder Tellur (Te) in den angegebenen Grenzen wird bei der erfindungsgemäßen Legierung bewirkt, dass die Zerspanbarkeit auch ohne Zugabe von Blei (Pb) verbessert wird, indem spanbrechende Phasen gebildet werden.

Mangan (Mn) wirkt verfestigend und dient als Desoxidationsmittel innerhalb der Kupferlegierung. Weiterhin kann durch Mangan (Mn) das Korn der Kupferlegierung verfeinert werden.

Schwefel (S) verbessert die Zerspanbarkeit des Kupferwerkstoffs. Durch Mangan (Mn) wird die Phasenbildung des Schwefels (S) mit anderen Legierungselementen verhindert oder vermindert.

Neben der verbesserten Zerspanbarkeit sowie Relaxationsbeständigkeit besitzt die erfindungsgemäße Kupferlegierung eine gute elektrische Leitfähigkeit, die je nach untersuchter Zusammensetzung von 21 MS/m für CuFe4P bis 52 MS/m für CuFe0,02PS reicht.

Vorteilhafte Weiterbildungen des Erfindungsgedankens sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche 2 bis 6.

- 5 -

Hiernach können die Legierungsbestandteile aus der vorstehenden Gruppe, sofern sie zulegiert werden, bezüglich Zink (Zn) und Zinn (Sn) in einem Bereich von jeweils 0,01 - 2,50 Gewicht-% enthalten sein.

Weiterhin können Anteile an Aluminium (Al), Bor (B), Chrom (Cr), Magnesium (Mg), Silber (Ag) und Zirkon (Zr) jeweils 0,01 % - 0,5 Gewicht-% betragen.

Phosphor (P) und Bor (B) haben die Eigenschaft, der Wasserstoffkrankheit entgegenzuwirken. Der im Kupfermischkristall gelöste Sauerstoff wird durch die Zugabe von Phosphor (P) und gegebenenfalls Bor (B) an diese Legierungselemente gebunden. Bei Aufnahme von Wasserstoff im Werkstoff kann kein Wasserdampf entstehen, der die Gefügestruktur auflockert. Phosphor (P) und Bor (B) fungieren als Desoxidationsmittel.

Weiterhin verhindert die Zugabe von Phosphor (P) die Oxidation von einzelnen Legierungselementen. Überdies können auch die Flieseigenschaften der Kupferlegierung beim Gießen durch Zugabe von Phosphor (P) verbessert werden.

Durch die erfindungsgemäße Zugabe von Aluminium (Al) kann die Härte des Kupferwerkstoffs und dessen Dehngrenze ohne Verminderung der Zähigkeit erhöht werden. Bei Aluminium (Al) handelt es sich um ein Legierungselement, durch welches die Festigkeit sowie die Bearbeitbarkeit und die Verschleißbeständigkeit der Kupferlegierung bei hohen Temperaturen verbessert werden kann. Dies gilt im Übrigen auch für die Verbesserung der Oxidationsresistenz der Kupferlegierung.

Die Zugabe von Chrom (Cr) und Magnesium (Mg) dient ebenfalls zur Verbesserung der Oxidationsresistenz der Kupferlegierung bei hohen Temperaturen. Besonders gute Ergebnisse werden in diesem Zusammenhang beobachtet, wenn Chrom (Cr) und Magnesium (Mg) in Kombination mit Aluminium (Al) hinzulegiert werden. Auf diese Weise kann ein vorteilhafter Synergieeffekt dieser Bestandteile erzielt werden.

- 6 -

Zirkon (Zr) kann die Warmumformbarkeit des erfindungsgemäßen Kupferwerkstoffs verbessern.

Insbesondere bei einer zumindest teilweisen Verzinnung der Kupferlegierung wird vorgeschlagen, einen Anteil an Zink (Zn) in einem Bereich von 0,01 - 2,50 % hinzuzulegieren. Zink (Zn) verbessert die Haftung der Verzinnung bzw. verbessert die Beständigkeit gegenüber dem Ablöseverhalten von Verzinnungen (peeling off).

Durch Zinn (Sn) kann ferner die Mischkristallverfestigung der erfindungsgemäßen Kupferlegierung gesteigert werden.

Schwefel (S) und/oder Tellur (Te) als Spanbrecher können bevorzugt mit Mangan (Mn) kombiniert werden. Schwefel und Mangan bilden Mangansulfide, welche die Zerspanbarkeit gegenüber Kupfersulfiden erhöhen.

Nachfolgend sind besonders bevorzugte Zusammensetzungen in Bezug auf die Legierungselemente Phosphor (P), Schwefel (S), Mangan (Mn) und Tellur (Te) angegeben, wobei zusätzlich die weiteren im Patentanspruch 1 angegebenen Legierungselemente in der Kupferlegierung enthalten sein können. Der Rest wird von Kupfer und erschmelzungsbedingten Verunreinigungen gebildet:

A)

Eisen (Fe)	0,07 - 3,50
Phosphor (P)	0,015 - 0,40

und wenigstens einem Element aus der nachfolgenden Gruppe:

Schwefel (S)	0,15 - 0,70
Mangan (Mn)	0,03 - 0,75
Tellur (Te)	0,05 - 0,90

- 7 -

B)

Eisen (Fe)	0,20 - 3,20
Phosphor (P)	0,017 - 0,30

und wenigstens einem Element aus nachfolgender Gruppe:

Schwefel (S)	0,20 - 0,62
Mangan (Mn)	0,05 - 0,70
Tellur (Te)	0,20 - 0,80

C)

Eisen (Fe)	0,40 - 3,00
Phosphor (P)	0,022 - 0,20

und wenigstens einem Element aus nachfolgender Gruppe:

Schwefel (S)	0,25 - 0,57
Mangan (Mn)	0,08 - 0,55
Tellur (Te)	0,30 - 0,70

D)

Eisen (Fe)	0,75 - 2,60
Phosphor (P)	0,025 - 0,15

und wenigstens einem Element aus nachfolgender Gruppe

Schwefel (S)	0,30 - 0,50
Mangan (Mn)	0,10 - 0,40
Tellur (Te)	0,40 - 0,60

Die vorliegende Erfindung wird nachfolgend anhand in den Figuren dargestellter Abbildungen sowie Tabellen, insbesondere in Abgrenzung gegenüber dem Stand der Technik, näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 Stahl-Eisen-Prüfblatt (SEP) 1178-90 zur analogen Beurteilung der Spanformklasse der erfindungsgemäßen Kupferlegierung;

- Figur 2 Untersuchungsergebnisse an den Kupferlegierungen CuSP, CuTeP und CuSMn mit Blick auf die Spanformklassen durch mechanische Bearbeitung in Form von Außenlängsdrehen bei Variation der Schnittgeschwindigkeit;
- Figur 3 die Untersuchungsergebnisse an den Werkstoffen aus Figur 2 in Bezug auf die Spanformklassen bei Varianten der Schnitttiefe;
- Figur 4 die Ergebnisse der Spanformklassen der Figuren 2 und 3 in Abhängigkeit von den jeweiligen Vorschub bei der mechanischen Bearbeitung;
- Figur 5 eine tabellarische Übersicht der Werkstoffeigenschaften einzelner im Stand der Technik bekannter Kupferlegierungen mit einer erfindungsgemäßen Kupferlegierung;
- Figur 6 ein Schliffbild durch die Gefügestruktur der im Stand der Technik bekannten Kupferlegierung CuSP;
- Figur 7 ein Schliffbild durch die Gefügestruktur der im Stand der Technik bekannten Kupferlegierung CuTeP;
- Figur 8 ein weiteres Schliffbild durch die Gefügestruktur der im Stand der Technik bekannten Kupferlegierung CuSMn;
- Figur 9 ein Schliffbild durch die Gefügestruktur der im Stand der Technik bekannten Kupferlegierung CuFe_{0,1}P;
- Figur 10 eine Abbildung der sich bei der mechanischen Bearbeitung der im Stand der Technik bekannten Kupferlegierung aus Figur 9 ergebenden Spanausbildung;
- Figur 11 ein Schliffbild durch die Gefügestruktur einer erfindungsgemäßen Kupferlegierung CuFe_{0,1}PS;

- Figur 12 eine Abbildung der sich bei der mechanischen Bearbeitung der erfindungsgemäßen Kupferlegierung aus Figur 11 ergebenden Spanausbildung;
- Figur 13 Diagramm zur Variation des Fe- und P-Gehalts bei konstantem Gehalt der Spanbrecher S oder S + Mn und/oder Te und
- Figur 14 Diagramm zur Variation der Gehalte der Spanbrecher S oder S + Mn und/oder Te bei konstantem Gehalt der Basiselemente Fe und P.

Um die positiven Eigenschaften und Unterschiede der erfindungsgemäßen Kupferlegierung gegenüber den im Stand der Technik bekannten Kupferlegierung zu erläutern, wurden vorliegend zunächst eine Gruppe aus den bekannten Kupferlegierungen CuSP (CW114C), CuTeP (CW118C, C14500) und CuSMn (C14750) näher untersucht.

Aus Figur 1 geht ein Stahl-Eisen-Prüfblatt 1178-90 hervor, um die sich bei der spanabhebenden Bearbeitung ergebenden Ausgestaltungen der Späne analog auf die vorliegend untersuchte Gruppe zu beziehen.

Das sich ergebende Spanbild wurde dabei in eine von insgesamt acht Spanformklassen (1 – 8) eingeteilt, wie in der ersten Spalte, links neben den schematisch dargestellten Spänen zu erkennen ist. Den einzelnen Spanbildern sind entsprechend ihrer Ausgestaltung passende Terminologien zugeordnet, welche von "Bandspäne" bis "Bröckelspäne" reichen.

In der rechts neben den Spanformklassen gelegenen Spalte ist die Spanraumzahl R aufgeführt, welche das Verhältnis zwischen dem Raumbedarf einer ungeordneten Spanmenge (V_{span}) und dem Werkstoffvolumen derselben Spanmenge (V) angibt. Eine kleine Spanraumzahl R lässt auf kleine Späne schließen, welche in ihrer räumlichen Ausgestaltung entsprechend wenig Platz benötigen. Somit sind diese in ihrer Handhabung gegenüber großen Spänen deutlich leichter. Demgegenüber lässt

eine große Spanraumzahl R auf einen hohen Platzbedarf der Späne schließen, so dass deren Handhabung aufgrund des sich ausdehnenden Volumens deutlich erschwert ist.

Die Spanformklassen und die jeweiligen Spanraumzahlen R sind in der ganz rechten Spalte in Figur 1 einer Beurteilung zugeführt, wobei die Spanformklassen 7 und 8 mit ihrer jeweiligen Spanraumzahl R als "brauchbar" eingestuft wurden, während die Spanformklassen 5 und 6 in Kombination mit ihren jeweiligen Spanraumzahlen R als "gut" beurteilt sind. Die verbleibenden Spanformklassen 1 bis 4 im Zusammenhang mit deren jeweiliger Spanraumzahl R sind dagegen ersichtlich als "ungünstig" eingestuft, wobei bei den Spanformklassen 3 und 4 ein fließender Übergang zu "gut" vorliegt.

Figur 2 zeigt die Ergebnisse der mechanischen Bearbeitung der untersuchten Gruppe der bekannten Kupferlegierungen in Bezug auf die sich ergebenden Spanformklassen beim Außenlängsdrehen eines daraus bestehenden Werkstücks.

Die mit Figur 2 vorliegenden Ergebnisse basieren auf einer konstanten Schnitttiefe a_p von 1,5 mm und einem Vorschub f von 0,2 mm. Die jeweilige Schnittgeschwindigkeit v_c wurde dabei von 450 m/min (v_{c1}) auf 150 m/min (v_{c2}) variiert. Wie zu erkennen, liegen die jeweiligen Spanformklassen der Werkstoffe aus der Gruppe (CuSP, CuTeP und CuSMn) allesamt zwischen 3 und 5. Die sich jeweils ergebenden Spanbilder sind ebenfalls in der vorliegenden Tabelle schematisch dargestellt. Zur besseren Verdeutlichung ist diesen jeweils ein Einheitsstrich für 20mm als Bezug zugeordnet, um die Ergebnisse in Form der sich bei der Untersuchung eingestellten Spangrößen besser einschätzen zu können.

Figur 3 zeigt die Ergebnisse weiterer Bearbeitungsschritte der Gruppe aus Figur 2. Hierbei wurde bei gleich bleibender Schnittgeschwindigkeit v_c von 450 m/min die jeweilige Schnitttiefe a_p von 1,5 mm (a_{p1}) nach 0,75 mm (a_{p2}) hin variiert. Wie bereits

bei die vorherigen und in Bezug auf deren Ergebnisse in Figur 2 ersichtliche Untersuchung wurde auch hierbei ein konstanter Vorschub von $f = 0,2$ mm eingehalten.

Aus Figur 3 geht hervor, dass die Variation der Schnitttiefe (a_p) insbesondere bei dem Werkstoffen CuSP und CuTeP zu einer Veränderung der Spanformklasse führt, wobei eine Vergrößerung der Schnitttiefe a_p sich einer Verschlechterung der Spanformklasse äußert. Demgegenüber bleibt die Spanformklasse von CuSMn während der Variation der Schnitttiefe a_p konstant, wie es im Übrigen auch bei der Variation der Schnittgeschwindigkeit v_c der Fall war (siehe Figur 2).

Wie zu erkennen, bleibt die Spanformklasse insbesondere der Kupferlegierung CuSMn somit sowohl bei Variation der Schnittgeschwindigkeit als auch bei Variation der Schnitttiefe in den jeweils vorliegenden Bereichen konstant.

Weiterhin bewegt sich die Gruppe der untersuchten Kupferlegierungen auch bei Variation der Schnitttiefe a_p in einem Bereich der Spanformklassen 3 bis 5.

Aus Figur 4 geht das Ergebnis der Variation des Vorschubs f in ihrer Auswirkung auf die Spanformklasse der jeweiligen Kupferlegierungen aus der untersuchten Gruppe hervor. Wie zu erkennen, verschlechtert sich die Spanformklasse der Gruppe mit abnehmendem Vorschub f insgesamt. Bei dem aus den Figuren 2 und 3 hervorgehenden Vorschub f von 0,2 mm liegen alle drei Kupferlegierungen der Prüfgruppe dagegen dicht beieinander. Lediglich die Kupferlegierung CuSMn verbessert seine Spanformklasse mit zunehmendem Vorschub f , welcher vorliegend bis 0,3 mm geprüft wurde. Die sich jeweils ergebenden Spanformen gehen ebenfalls aus den schematisch dargestellten Abbildungen in Kombination mit der vorliegenden Tabelle hervor.

Die so erhaltenen und in den Figuren 2 bis 4 zusammengestellten Ergebnisse wurden anschließend mit den Untersuchungsergebnissen für die vorliegende erfindungsgemäße Kupferlegierung verglichen.

- 12 -

Als Referenzwert wurde die bekannte Kupferlegierung CuZn39Pb3 verwendet, welche insbesondere in Deutschland als die Hauptlegierung für Zerspanung gilt. Besagter Kupferlegierung findet überall dort seinen Einsatz, wo es verstärkt auf eine spanende sowie spanabhebende Formgebung ankommt. Im Zusammenhang mit der vorliegend als Referenz genutzten Kupferlegierung CuZn39Pb3 wird deren Zerspanbarkeit mit einem Zerspanungsindex von 100% angenommen.

Demgegenüber erreicht reiner Kupferwerkstoff einen Zerspanungsindex von 20% bis maximal 30%. Bei diesen Kupfersorten handelt es sich um niedrig legierte und aushärtbare Kupferwerkstoffe, welche keine spanbrechende Elemente wie Schwefel (S), Tellur (Te) sowie Schwefel (S) und Mangan (Mn) sowie Blei (Pb) beinhalten.

Zwischen diesen beiden Kupferwerkstoffen reiht sich die vorliegend untersuchte Gruppe derart ein, dass CuSP einen Zerspanungsindex von 70% aufweist, während CuTeP einen Zerspanungsindex von 80% besitzt. Letztlich erreicht CuSMn den höchsten Zerspanungsindex aus der Gruppe von 90%.

Figur 5 zeigt hierzu eine tabellarische Gegenüberstellung der darin enthaltenen Werkstoffe in Bezug auf deren jeweilige Werkstoffeigenschaften.

Neben den in der ganz linken Spalte untereinander aufgeführten Werkstoffen sind jeweils rechts daneben deren zugehörige Größen aus weiteren Untersuchungen zu entnehmen, beginnend mit der 0,2%-Dehngrenze $R_{p0,2}$. Rechts daneben findet sich die Zugfestigkeit R_m sowie Bruchdehnung A.

In der sich daran anschließenden rechten Spalte ist die jeweilige Brinellhärte (HBW) angegeben und in der rechts darauf folgenden Spalte die Leitfähigkeit der einzelnen Werkstoffe. Die ganz rechts gelegenen, letzten beiden Spalten zeigen zunächst qualitativ die jeweilige Relaxation sowie die Zerspanbarkeit in Form des Zerspanungsindex in %.

Die vorliegende Tabelle in Figur 5 ist dabei so aufgebaut, dass diese die ungefähren Herstellungskosten der einzeln aufgeführten Werkstoffe widerspiegelt, beginnend mit dem preiswertesten Werkstoff oben.

In der Tabelle findet sich die erfindungsgemäße Kupferlegierung mit den dort aufgeführten Größenordnungen ihrer einzelnen Legierungskomponenten wieder, näherhin $\text{CuFe}_{0,1}\text{PS}_{0,35}$ und $\text{CuFe}_{2}\text{PS}_{0,35}$.

Wie zu erkennen ist, weist die Kupferlegierung $\text{CuFe}_{0,1}\text{PS}_{0,35}$ im direkten Vergleich mit nur spanbrechenden legierten Werkstoffen (CuSP , CuTeP und CuSMn) eine hier etwas geringere eingestellte 0,2%-Dehngrenze sowie Zugfestigkeit R_m auf. Die Bruchdehnung ist mit 17 % und die Relaxation ist mit "o" besser gegenüber CuSP , CuTeP und CuSMn . Die Legierung $\text{CuFe}_{2}\text{PS}_{0,35}$ weist höhere mechanische Kennwerte und eine höhere Relaxationsbeständigkeit, welche in der Tabelle mit "+" kenntlich gemacht ist, auf.

Die mit der Erfindung vergleichbaren Werkstoffe $\text{CuFe}_{0,1}\text{P}$ und CuFe_{2}P besitzen eine jeweils ähnlich gute Relaxationsbeständigkeit, weisen demgegenüber allerdings eine deutlich schlechtere Zerspanbarkeit von lediglich 20 bzw. 25 % gegenüber der erfindungsgemäßen Kupferlegierung $\text{CuFe}_{0,1}\text{PS}$ und CuFe_{2}PS auf.

Auffällig hierbei ist, dass die in den ersten vier Zeilen aufgeführten Werkstoffe zwar einen ähnlich guten und mit 100% bei $\text{CuZn}_{39}\text{Pb}_3$ entsprechend höheren Zerspanungsindex besitzen, demgegenüber allerdings in ihrer jeweiligen Relaxationsbeständigkeit der Kupferlegierung $\text{CuFePS}_{0,35}$ der Erfindung deutlich unterliegen.

Die vorliegend aufgeführten Werte für den jeweiligen Zerspanungsindex der im Stand der Technik bekannten Werkstoffe wurde zum Teil aus dem Informationsdruck i18 des deutschen Kupferinstituts "Richtwerte für die spanende Bearbeitung von Kupfer und Kupferlegierungen" entnommen.

- 14 -

Die Bestimmung der mechanischen Kennwerte für die vorliegende Tabelle erfolgte nach DIN ISO 6892-1. Dabei entsprach die jeweilige Probenform der Form A gemäß DIN 50125. Die jeweilige Leitfähigkeit wurde mit einem Sigmatester der Firma Förster ermittelt. Das jeweilige Relaxationsverhalten wurde anhand von internen Messungen an den verwandten Werkstoffen extrapoliert, welche allerdings gegenüber der Kupferlegierung der Erfindung keine erfindungsgemäßen spanbrechenden Elemente enthielten.

Die Figuren 6 bis 9 zeigen jeweils ein Schlifffbild der Mikrostrukturen aus der den Untersuchungen zugrunde liegenden Gruppe der einzelnen Kupferwerkstoffe.

Figur 6 zeigt dabei den Werkstoff CuSP mit seiner Anordnung der spanbrechenden Elemente. Dessen Mikrostruktur zeigt zum Teil dicht beieinander liegende und jeweils dunkel dargestellte Kupfersulfide, welcher hierbei als Spanbrecher dienen.

Figur 7 zeigt demgegenüber den Werkstoff CuTeP, welcher in seiner Mikrostruktur dunkel dargestellte Kupfertelluriden als Spanbrecher enthält. Diese sind in ihrer Anordnung größtenteils vereinzelter und weiter auseinander gelegen.

Aus Figur 8 geht die Mikrostruktur des Werkstoffs CuSMn hervor, welcher als Spanbrecher Mangansulfide enthält. Wie bereits aus den in den Figuren 2 bis 4 und in Zeile vier der Tabelle aus Figur 5 hervorgehenden Ergebnissen weist CuSMn einen hohen Zerspanungsindex mit einer zumeist guten Spanformklasse auf, was auf die in Figur 8 ersichtliche, gleichmäßige Verteilung seiner Spanbrecher zurückzuführen ist.

Figur 9 zeigt zum Vergleich die geätzte Mikrostruktur des genormten Werkstoffs CuFe_{0,1}P (C19210) ohne spanbrechende Phasen.

- 15 -

Neben dem Kupfermischkristall liegen nicht lichtmikroskopisch sichtbare Eisenphosphide vor. Die Eisenphosphide haben keine spanbrechende Wirkung. Beim Zerspanen des Werkstoffs entstehen ungünstig lange Späne (Fig. 10) die sich um die Spanwerkzeuge wickeln können und den Stillstand eines Drehautomaten verursachen können (Parameter: $v_C = 100$ m/min, $f = 0,1$ mm, $a_P = 1,0$ mm).

Aus Figur 11 geht die Mikrostruktur des erfindungsgemäßen Werkstoffs $\text{CuFe}_{0,1}\text{PS}_{0,35}$ hervor. Dieser weist als Spanbrecher ebenfalls Kupfereisensulfide auf. Wie zu erkennen, besitzt dieser eine dem in Figur 8 dargestellten Kupferwerkstoff CuSMn ähnlich gute Verteilung seiner Spanbrecher, was sich in einer guten Zerspanbarkeit äußert.

Dessen Fertigung lag das Gießen im Strangguss zugrunde, mit einem Pressen von Durchmesser 273 mm auf Durchmesser 28 mm. Weiterhin beinhaltete die Fertigung das Ziehen von Durchmesser 28 mm auf Durchmesser 24 mm. Anschließend erfolgte ein Rekristallisationsglühen bei 540 °C über 4 Stunden hinweg an Umgebungsluft und eine weitere Verformung.

Figur 12 zeigt die Spanausbildung nach der mechanischen Bearbeitung des erfindungsgemäßen Kupferwerkstoffs $\text{CuFe}_{0,1}\text{PS}_{0,35}$. Anhand der Gefügebildung der Figur 11 und der Spanformklasse des vorliegenden Werkstoffs $\text{CuFe}_{0,1}\text{PS}_{0,35}$ im Vergleich mit den Untersuchungen an den vorherigen Werkstoffen CuSP , CuTeP und CuSMn lässt sich auf einen Zerspanungsindex von mindestens 70% schließen (Spanklasse 3 - 6 nach SED1178-90, bei $v_C = 100$ m/min, $f = 0,1$ mm, $a_P = 1,0$ mm).

Je nach Anforderungsprofil lassen sich somit aus den zerspanbaren erfindungsgemäßen Kupferlegierungen entsprechende Eigenschaftskombinationen herausuchen. Ein besonderes Merkmal der Kupferlegierung ist, dass eine Verarbeitbarkeit mit konventionellen Fertigungs- und Bearbeitungsmaschinen

möglich ist. In vorteilhafter Weise besitzt die erfindungsgemäße Kupferlegierung sowohl eine ausreichende Kaltverformbarkeit als auch eine sehr gute Warmverformbarkeit.

Vorliegend ist die Erfindung auch auf die Verwendung einer solchen Kupferlegierung für die Herstellung eines spanend zu fertigenden Produktes gemäß Patentanspruch 7 gerichtet.

Weiterhin ist die Erfindung auf die Verwendung einer solchen Kupferlegierung auch für die Herstellung eines nicht spanend zu fertigenden Halbzeugs gemäß Patentanspruch 8 gerichtet. Dabei kann es sich insbesondere um ein Walz-, Press-, Zieh-, Schmiede- oder Gussprodukt handeln. Zum Beispiel können Stangen und Drähte aus Press- und Ziehfolgen als Halbzeuge geliefert werden.

Aus den Stangen und Drähten können zum Beispiel folgende Produkte über eine spanende Fertigung hergestellt werden: Steckkontakte, Quetschhülsen, Crimpverbinder, Nägel mit gebohrtem Schaft, Motorteile, Schrauben, Fixierstifte, Klemmen, Schweißdüsen, Schneidbrennerdüsen, Ventile, Fittings, Muttern, Armaturenteile, Kontraktrohre, Kontaktstifte.

Figur 13 zeigt ein Diagramm zur Variation des Fe- und P-Gehalts bei konstantem Gehalt der Spanbrecher S oder S + Mn und/oder Te und Figur 14 zeigt ein Diagramm zur Variation der Gehalte der Spanbrecher S oder S + Mn und/oder Te bei konstantem Gehalt der Basiselemente Fe und P.

Daraus lassen sich die gegenseitigen Wechselwirkungen der Legierungselemente ablesen.

Patentansprüche

1. Kupferlegierung, mit Anteilen in Gewicht-% an:

Eisen (Fe) 0,02 - 4,00

Phosphor (P) 0,01 - 0,50

und wenigstens einem Element aus nachfolgender Gruppe:

Schwefel (S) 0,10 - 0,80

Mangan (Mn) 0,01 - 0,80

Tellur (Te) 0,10 - 1,00

wobei die Legierung frei ist von Beryllium (Be) und Blei (Pb) und wahlweise:

Aluminium (Al) max. 0,50

Chrom (Cr) max. 0,50

Magnesium (Mg) max. 0,50

Zirkon (Zr) max. 0,50

Zink (Zn) max. 2,50

Zinn (Sn) max. 2,50

Bor (B) max. 0,50

Silber (Ag) max. 0,50

enthält,

Rest Kupfer (Cu) sowie erschmelzungsbedingte Verunreinigungen.

2. Kupferlegierung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass wahlweise wenigstens eines der nachfolgenden Legierungselemente mit folgenden Anteilen in Gewicht-% enthalten ist:

Aluminium (Al)	0,01 - 0,50
Chrom (Cr)	0,01 - 0,50
Magnesium (Mg)	0,01 - 0,50
Zirkon (Zr)	0,01 - 0,50
Zink (Zn)	0,01 - 2,50
Zinn (Sn)	0,01 - 2,50
Bor (B)	0,01 - 0,50
Silber (Ag)	0,01 - 0,50.

3. Kupferlegierung nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch folgende Anteile in Gewicht-%:

Eisen (Fe)	0,07 - 3,50
Phosphor (P)	0,015 - 0,40

und wenigstens einem Element aus nachfolgender Gruppe:

Schwefel (S)	0,15 - 0,70
Mangan (Mn)	0,03 - 0,75
Tellur (Te)	0,05 - 0,90.

4. Kupferlegierung nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch folgende Anteile in Gewicht-%:

Eisen (Fe)	0,20 - 3,20
Phosphor (P)	0,017 - 0,30

und wenigstens einem Element aus nachfolgender Gruppe:

Schwefel (S)	0,20 - 0,62
Mangan (Mn)	0,05 - 0,70
Tellur (Te)	0,20 - 0,80.

5. Kupferlegierung nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch folgende Anteile in Gewicht-%:

Eisen (Fe)	0,40 - 3,00
Phosphor (P)	0,022 - 0,20

und wenigstens einem Element aus nachfolgender Gruppe:

Schwefel (S)	0,25 - 0,57
Mangan (Mn)	0,08 - 0,55
Tellur (Te)	0,30 - 0,70.

6. Kupferlegierung nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch folgende Anteile in Gewicht-%:

Eisen (Fe)	0,75 - 2,60
Phosphor (P)	0,025 - 0,15

und wenigstens einem Element aus nachfolgender Gruppe:

Schwefel (S)	0,30 - 0,50
Mangan (Mn)	0,10 - 0,40
Tellur (Te)	0,40 - 0,60.

7. Verwendung einer Kupferlegierung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 6 für die Herstellung eines spanend zu fertigenden Produktes.
8. Verwendung einer Kupferlegierung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 6 für die Herstellung eines nicht spanend zu fertigenden Halbzeugs, insbesondere in Form eines Walz-, Press-, Zieh-, Schmiede- oder Gussproduktes.

Spanform- klasse	Spanraum- zahl V_{span}/V	Beurteilung
Bandspäne	≥ 90	ungünstig
Wirrspäne	≥ 90	
Flachwendelspäne	≥ 50	
Lange, zylindrische Wendelspäne	≥ 50	
Wendelspanstücke	≥ 25	gut
Spiralspäne	≥ 8	
Spiralspanstücke	≥ 8	brauch- bar
Bröckelspäne	≥ 3	

Fig. 1

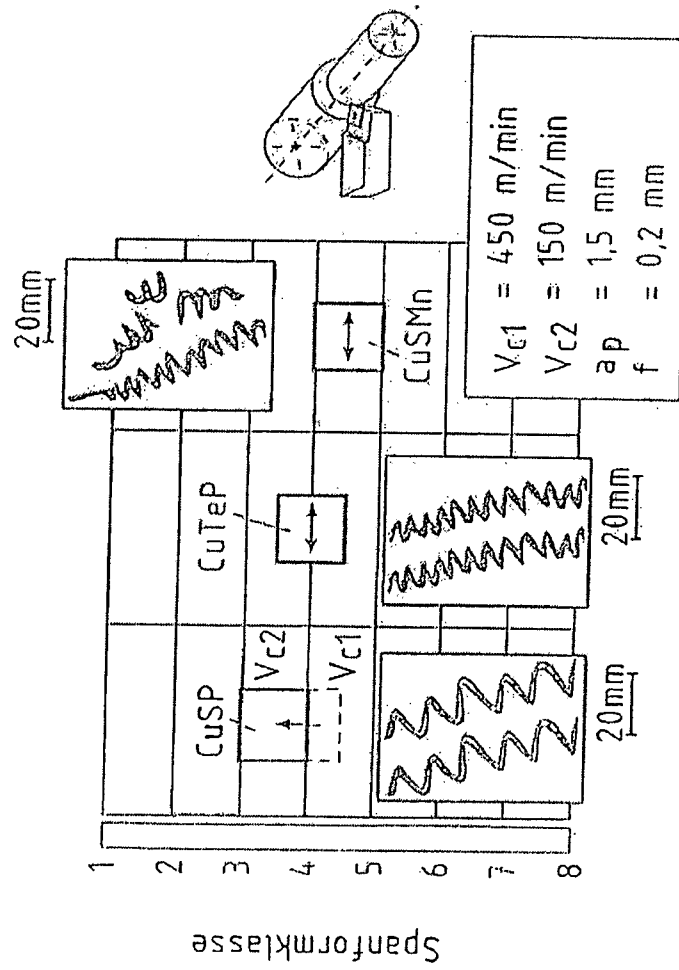


Fig. 2

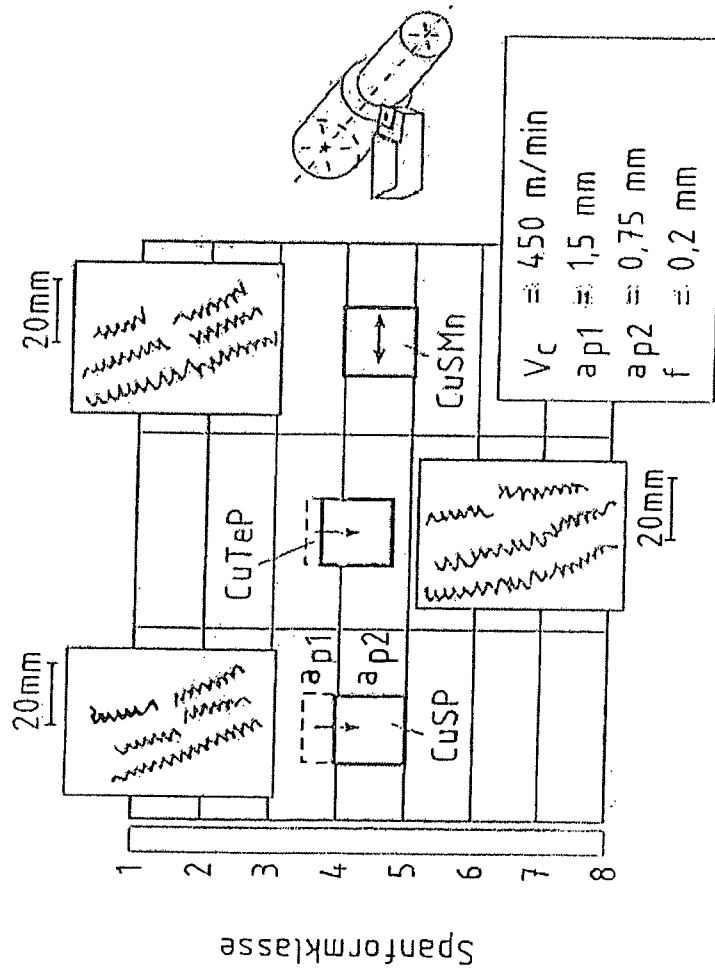


Fig. 3

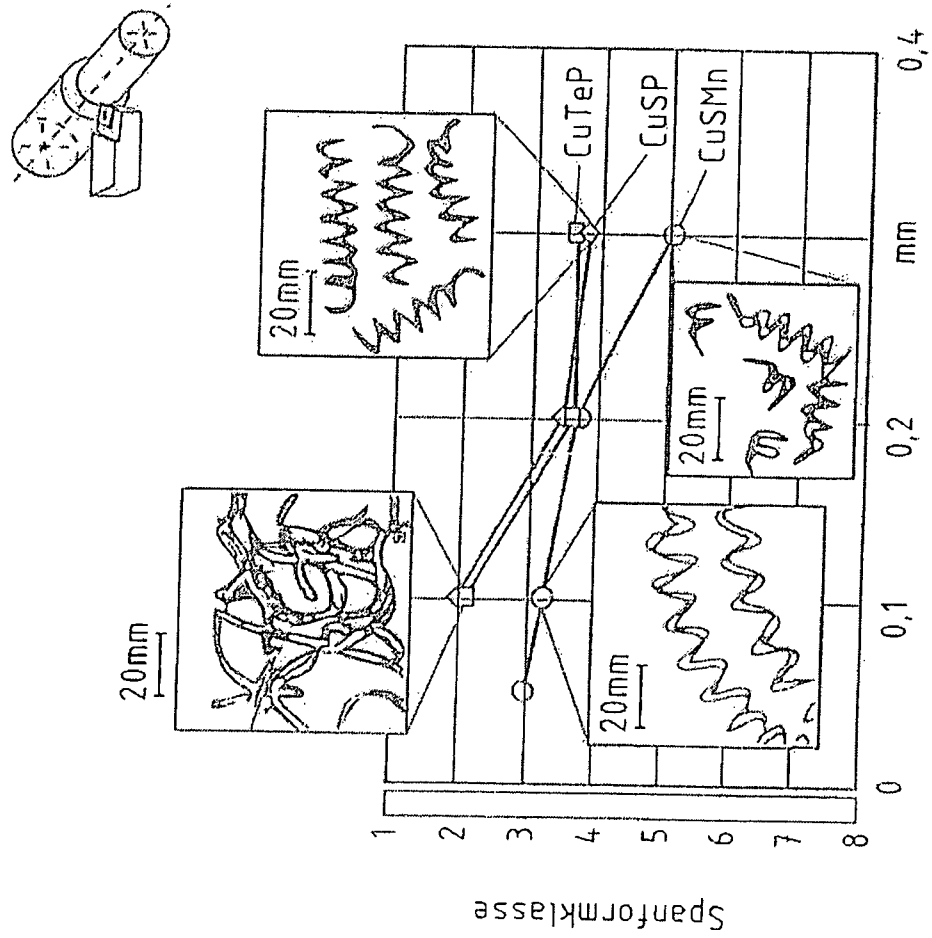


Fig. 4

Werkstoff	R _{p0,2} MPa	R _m MPa	A %	HBW	Leitf. MS/m	Rela- xation n	Zerspanung %
CuZn39Pb3 CW614N	160	420	15	90	15	---	100
CuSP CW114C	310	325	14	97	52	-	70
CuTeP CW118C, C14500	310	325	14	97	54	-	80
CuSMn C14750	310	325	14	97	54	-	90
CuSn0,15 C14410	350	370	10	100	48	o	20
CuFe0,1P C19210	270	310	19	90	50	o	20
CuFe0,1PS0,35	280	300	17	91	47	o	70
CuFe2P C19400	280	330	15	110	35	+	25
CuFe2PS0,35	330	335	13	107	32	+	70
CuNi1P CW108C	430	520	10		36	++	30
CuNi1Pb1P C19160	380	480	14		34	++	70
CuNi1Pb1P C19160	550	600	5	170	34	++	70
CuNi1,5Si C19010	540	620	11	180	35	+++	25

Fig. 5

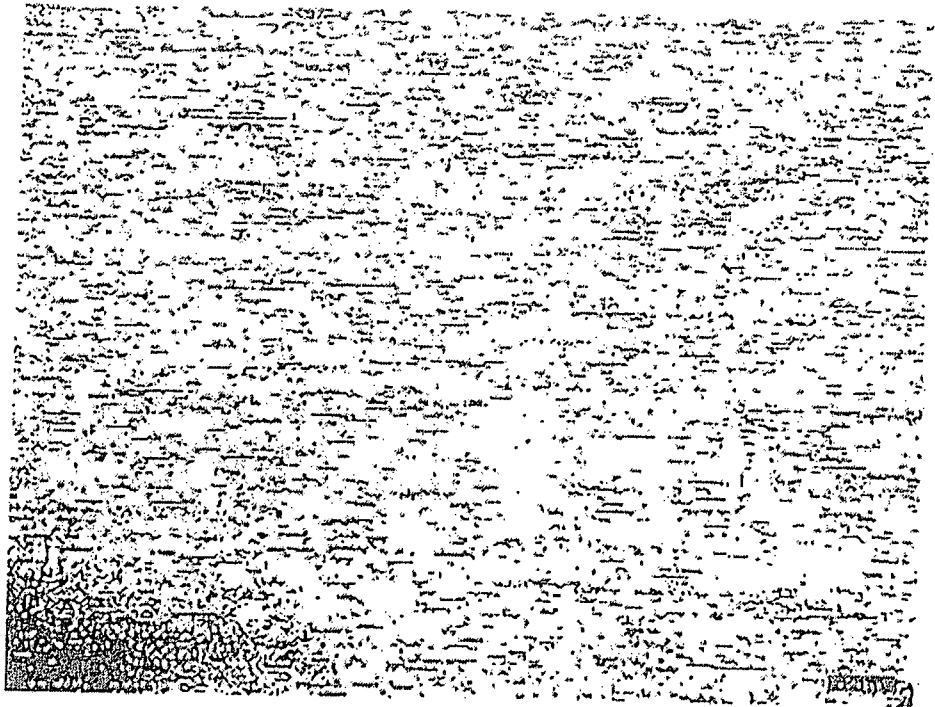


Fig. 6

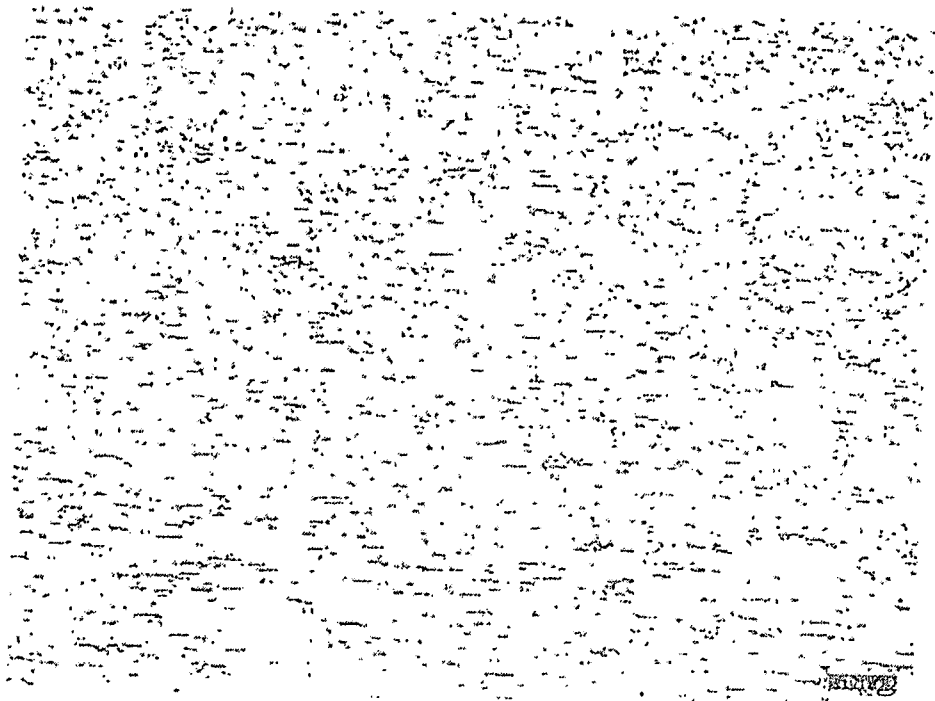


Fig. 7



Fig. 8

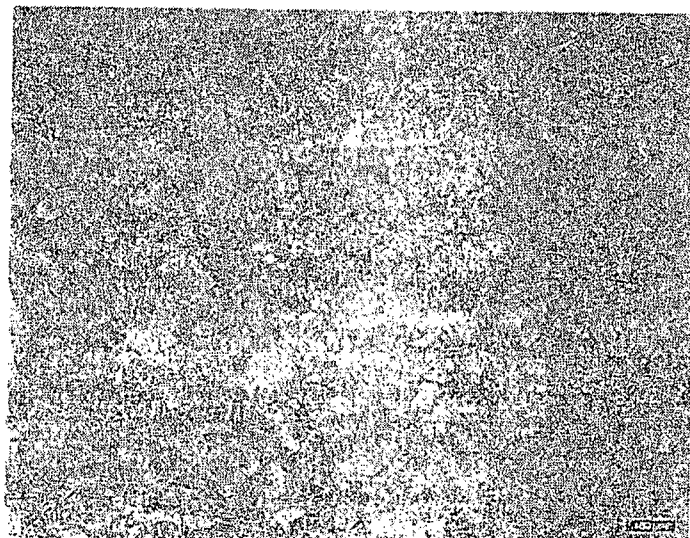


Fig. 9

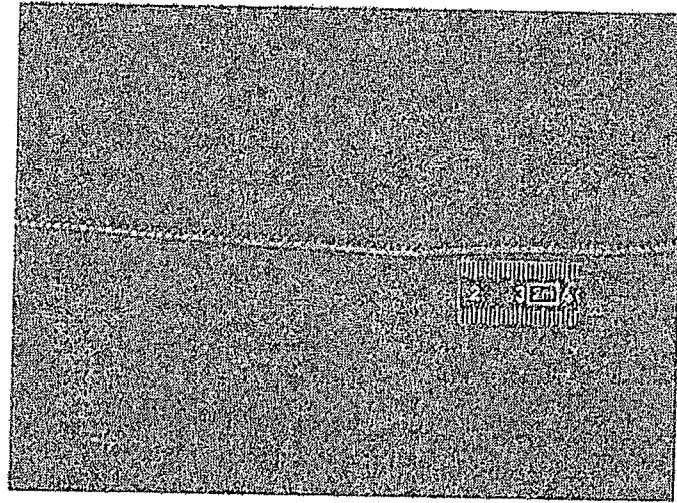


Fig. 10

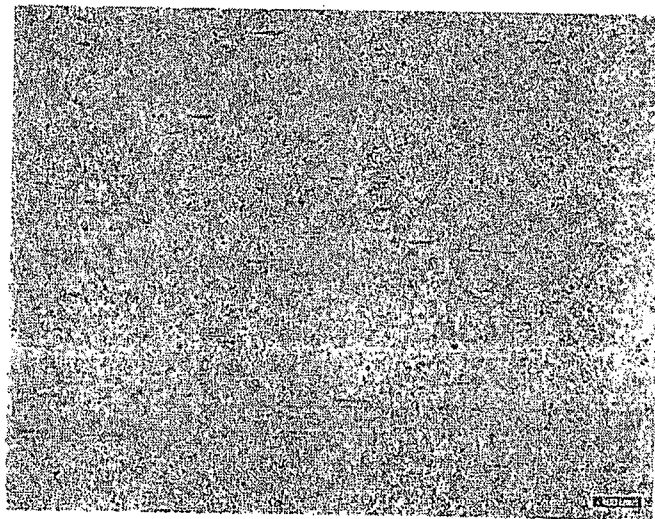


Fig. 11

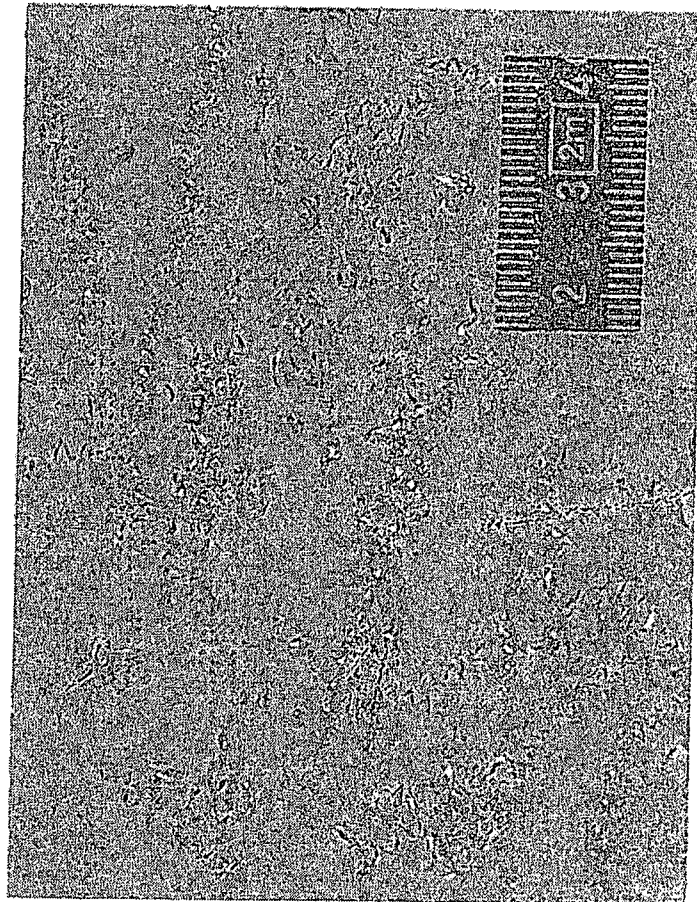



Fig. 12

Eigenschaft	steigender Legierungsanteil 			
	0,02 % 0,01 %	Fe P	4,0 % 0,50 %	Legierungen Verpöndung der
Zerspanbarkeit	++	++	++	++
Relaxationsbeständigkeit	-	+	++	++
Festigkeit / Härte	o	+	++	++
Duktilität	++	+	o	o
Leitfähigkeit	+++	+	-	-

kein Mischkristall-,
verfestigung mehr,
vergleichbar mit CuSP,
CuTe, CuSMn

Fig. 13

Eigenschaft	steigender Gehalt der Spanbrecher		Legierungen	
	0,1 %	0,8 %	0,8 %	1,0 %
Zerspanbarkeit	+	++	++	+++
Relaxationsbeständigkeit	+	+	+	+
Festigkeit / Härte	+	+	+	+
Duktilität	++	+	+	o
Leitfähigkeit	++	++	++	++

keine Steigerung der Zerspanbarkeit gegenüber CuFeP

S
Mn
Te
(in Kombination mit S)

Fig. 14