



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 571 232 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
07.09.2005 Patentblatt 2005/36

(51) Int Cl.7: **C22F 1/08, C22C 9/00**

(21) Anmeldenummer: **05000986.9**

(22) Anmeldetag: **19.01.2005**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IS IT LI LT LU MC NL PL PT RO SE SI SK TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA HR LV MK YU

(72) Erfinder:
• **Jacobsen, Jens, Dr.**
21465 Reinbek (DE)
• **Langner, Bernd, Dr.**
21423 Winsen (DE)

(30) Priorität: **02.03.2004 DE 102004010040**

(74) Vertreter: **Klickow, Hans-Henning**
Jessenstrasse 4
22767 Hamburg (DE)

(71) Anmelder: **Norddeutsche Affinerie**
Aktiengesellschaft
20539 Hamburg (DE)

(54) **Kupferdraht sowie Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung eines Kupferdrahtes**

(57) Der Kupferdraht weist einen mittleren Kupfergehalt von mindestens 99,95 Gewichtsprozenten sowie mindestens einen dem Kupfer zulegierten Begleiter auf. Ein Quotient aus dem Gewichtsanteil des Begleiters und einem Gewichtsanteil eines Restsauerstoffgehaltes weist einen Wert im Intervall von 0,8 bis 1,7 auf. Der Gewichtsanteil des Begleiters variiert entlang einer Drahtlänge um maximal 25 % bezogen auf den maximalen Gewichtsanteil des Begleiters. Verfahrenstech-

nisch wird der Kupferdraht durch einen Gießvorgang mit anschließender Weiterverarbeitung hergestellt. Die Kupferschmelze wird bis zu einer Erstarrung gegenüber einer Umgebungsatmosphäre geschützt. Zur Gewährleistung einer genauen Zulegierung des Begleiters weist die Vorrichtung zur Herstellung des Kupferdrahtes eine Dosierregelung mit angeschlossener Dosiereinrichtung auf.

EP 1 571 232 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Kupferdraht, der einen mittleren Kupfergehalt von mindestens 99,95 Gewichtsprozenten sowie mindestens einen dem Kupfer zulegierten Begleiter aufweist.

[0002] Die Erfindung betrifft darüber hinaus ein Verfahren zur Herstellung eines Kupferdrahtes mit einem mittleren Kupfergehalt von mindestens 99,95 Gewichtsprozenten, bei dem dem Kupfer mindestens ein Begleiter zulegiert wird und bei dem der Herstellungsprozeß einen Gießvorgang sowie ggf. nachgelagerte Walz- und/oder Ziehprozesse umfaßt.

[0003] Die Erfindung betrifft schließlich eine Vorrichtung zur Herstellung eines Kupferdrahtes, die mindestens einen Ofen zur Bereitstellung einer Kupferschmelze und eine Gießeinrichtung aufweist. Vorrichtungen zum Walzen und/oder ziehen können nachgelagert und auch verkettelt sein.

[0004] Ein typischer Herstellungsprozeß für Kupferdrähte erfolgt derart, daß zunächst das Kupfer eingeschmolzen und anschließend einer Stranggußanlage zugeführt wird, wo es zu einem Strang erstarrt. Dieser Kupferstrang wird nachgeschaltet umgeformt (je nach Anwendung Walzen, Pressen, Ziehen, so daß ein Kupferdraht mit vorgebbarem Durchmesser oder auch in ein Profil mit vorgebbbarer Querschnittsgeometrie entsteht. Wärmebehandlungen können ebenfalls folgen, um eine bestimmte Kombination aus Festigkeit und Formänderungsvermögen einzustellen. In einem abschließenden Fertigungsschritt wird der hergestellte Kupferdraht oder das Profil typischerweise auf Spulen, in Fässer oder ähnliche Träger aufgewickelt. Die derart hergestellten Kupferdrähte oder Profile werden überwiegend für elektrische Anwendungen eingesetzt.

[0005] Abgesehen vom Spezialfall der Herstellung von Widerstandsdrähten besteht eine typische Anforderung in der Erreichung einer möglichst hohen elektrischen Leitfähigkeit des Drahtes oder des Profiles. Voraussetzung hierfür ist zunächst typischerweise die Bereitstellung einer hochreinen Kupferschmelze unter möglichst weitgehendem Ausschluß von Begleitelementen.

[0006] Ein Verfahren zur Reduzierung des Anteiles von Begleitelementen in der Kupferschmelze besteht darin, einen geeigneten Sauerstoffgehalt der Kupferschmelze vorzugeben und hierdurch noch gegebenenfalls enthaltene Begleitelemente gezielt abzubinden. Die hierdurch gebildeten Oxide der Begleitelemente schwimmen zum Teil als Schlacke auf der Kupferschmelze auf und können dort entfernt werden. Der restliche Teil der Oxide wird unschädlich für die elektrische Leitfähigkeit an den Korngrenzen ausgelagert, so daß die in den Oxiden gebundenen Begleiter nicht mehr in der Kupfermatrix gelöst sind.

[0007] Aus hochreinen Kupferschmelzen gefertigte Produkte (z.B. Drähte oder Profile) weisen jedoch den Nachteil auf, daß mit zunehmender Materialreinheit und

die damit verbundenen größeren Kristallite die erzielbaren Kombinationen zwischen Festigkeiten und Formänderungseigenschaften sowie ebenfalls die Dauerfestigkeitseigenschaften ungünstiger werden. Dies führt beispielsweise bei den erzeugten Kupferdrähten oder Profilen zu einer erhöhten Bruchgefahr.

[0008] Weiterhin weisen Drähte/Profile aus hochreinem Kupfer nach Kaltumformung eine verhältnismäßig niedrigere Rekristallisationstemperatur auf, die zwar in einigen Anwendungen erwünscht ist, bei vielen Anwendungen jedoch stört, da die fertigungs- oder betriebsbedingten Anforderungen an die thermische Standfestigkeit (d.h. Beibehalten von mechanischen Eigenschaften auch bei erhöhten Temperaturen) nicht erfüllt werden können.

[0009] Unabhängig hiervon nimmt auch unter bestimmten Bedingungen die Beständigkeit der Kupferdrähte/-profile bei Sauerstoffgehalten ≥ 5 ppm (=g/t) gegen eindringenden Wasserstoff ab, da der Wasserstoff durch den Sauerstoff zu Wasserdampf oxidiert werden kann und hierdurch die Korngrenzen beschädigt werden. Konventionelle sauerstoffhaltige Kupferdrähte neigen deshalb zu einer Anfälligkeit gegenüber der sogenannten Wasserstoffkrankheit, die das Drahtmaterial beschädigt.

[0010] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen Kupferdraht der einleitend genannten Art derart herzustellen, daß eine optimale Kombination der genannten Materialeigenschaften erreicht wird. Insbesondere soll ein wasserstoffbeständiger Draht mit hoher elektrischer Leitfähigkeit erzeugt werden, der nach den erforderlichen Fertigungsschritten durch sein homogenes Gefüge mit kleinen Korngrößen günstigere mechanische Eigenschaftskombinationen bietet. Zusätzlich soll die thermische Beständigkeit gezielt eingestellt werden.

[0011] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß auf Basis einer hochreinen Kupferschmelze ein Quotient aus dem Gewichtsanteil des Begleiters und dem Gewichtsanteil eines in engen Toleranzen eingestellten Sauerstoffgehaltes einen Wert im Intervall von 0,8 bis 1,7 aufweist und daß der Gewichtsanteil des Begleiters entlang einer Drahtlänge um maximal 25 % bezogen auf den maximalen Gewichtsanteil des Begleiters variiert.

[0012] Weitere Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren der einleitend genannten Art derart zu verbessern, daß die Herstellung von Kupferdrähten mit optimierten Materialeigenschaften unterstützt bzw. ermöglicht wird.

[0013] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Kupferschmelze bis zu einer Erstarrung gegenüber einer Umgebungsatmosphäre geschützt wird und daß der Begleiter in einer Menge derart zulegiert wird, daß ein Quotient aus dem Gewichtsanteil des Begleiters und dem Gewichtsanteil eines gezielt eingestellten Sauerstoffgehaltes in der Kupferschmelze auf einen Wert im Intervall von 0,8 bis 1,7 eingestellt

und der Quotient entlang der Drahtlänge im wesentlichen konstant gehalten wird.

[0014] Eine zusätzlich Aufgabe der Erfindung besteht darin, eine Vorrichtung der einleitend genannten Art derart zu konstruieren, daß die Herstellung eines Kupferdrahtes mit optimierten und auch bei großen Produktionsmengen im wesentlichen konstanten Materialeigenschaften unterstützt wird.

[0015] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß eine Dosiereinrichtung zur zulegierung mindestens eines Begleiters an eine Dosierregelung angeschlossen ist, die mit mindestens einem Sensor zur Erfassung eines Ofengewichtes sowie einer Einrichtung zur Erfassung einer Gießleistung verbunden ist.

[0016] Durch die erfindungsgemäße Relation des Gewichtsanteiles des Begleiters sowie des Restsauerstoffgehaltes kann sowohl eine hohe Leitfähigkeit als auch eine gute Kombination mechanischer Eigenschaften (Festigkeit, Dehnung, Dauerfestigkeit) sowie eine wasserstoffbeständigkeit des Kupferdrahtes erreicht werden. Der erfindungsgemäße Anteil des Begleiters ermöglicht bei einer Erstarrung der Kupferschmelze die Entstehung sowohl hinsichtlich der elektrischen Leitfähigkeit als auch hinsichtlich der mechanischen Eigenschaften optimierter Korngrenzen bei kleiner durchschnittlicher Korngröße.

[0017] Zur Erreichung der Wasserstoffbeständigkeit sowie des optimalen Kompromisses zwischen einer guten Kombination von hoher mechanischer Festigkeit und hohem Formänderungsvermögen einerseits sowie einer guten Leitfähigkeit andererseits erweist es sich als vorteilhaft, daß der Begleiter aus Phosphor ausgebildet ist.

[0018] Eine weitere vorteilhafte Materialauswahl besteht darin, daß der Begleiter aus Bor ausgebildet ist.

[0019] Ebenfalls ist es möglich, daß der Begleiter aus Lithium ausgebildet ist.

[0020] Die angestrebte Materialoptimierung kann insbesondere dadurch erreicht werden, daß der Begleiter mit einem Anteil von 5 ppm bis 60 ppm im Kupfer enthalten ist.

[0021] So wird z.B. im weichen Zustand eine gute Kombination zwischen Festigkeit und dabei höchstmöglichem Formänderungsvermögen sowie einer optimalen Leitfähigkeit dadurch erreicht, daß eine mittlere Korngröße höchstens 30 Mikrometer beträgt.

[0022] Eine typische Realisierung besteht darin, daß der im Reaktionsprodukt gebundene Begleiter mindestens teilweise an den jeweiligen Korngrenzen angelagert ist.

[0023] Darüber hinaus ist auch daran gedacht, daß der Begleiter mindestens teilweise elementar in das Atomgitter der jeweiligen Körner eingelagert ist.

[0024] Für großtechnische Anwendungen erweist es sich als vorteilhaft, daß der Anteil des Begleiters entlang der Drahtlänge bezogen auf seinen maximalen Gewichtsanteil um höchstens 20 % variiert.

[0025] Eine meßtechnische Erfassung der Menge des im Kupfer enthaltenen Begleiters wird dadurch unterstützt, daß ein Gehalt des Begleiters im Kupfer von mindestens einer Prüfsonde erfaßt wird.

[0026] Eine einfache meßtechnische Erfassung wird dadurch unterstützt, daß der Gehalt des Begleiters von der Prüfsonde im Bereich des geschmolzenen Kupfers erfaßt wird.

[0027] Eine meßtechnische Erfassung am Endprodukt kann dadurch erfolgen, daß der Gehalt des Begleiters von der Prüfsonde im Bereich des erstarrten Drahtes erfaßt wird.

Ein typischer Verfahrensablauf besteht darin, daß über den Gehalt des Begleiters im Kupfer die Leitfähigkeit des Kupfers eingestellt wird.

[0028] Zur Kompensation einer wenigstens teilweisen Abbildung des zulegierten Begleiters durch in der Kupferschmelze enthaltenen Sauerstoff wird vorgeschlagen, daß dem Kupfer bei einem erhöhten Sauerstoffgehalt ein nach entsprechenden Algorithmen erhöhter Anteil des Begleiters zugesetzt wird.

[0029] Eine Produktionsvariante besteht darin, daß der Kupferdraht durch direktes Gießen erzeugt wird.

[0030] Darüber hinaus ist auch daran gedacht, daß der Kupferdraht aus einem gegossenen Strang durch nachfolgende Warmumformung erzeugt wird.

[0031] Eine weitere Verfahrensvariante insbesondere unter Einbeziehung einer nach der Umformung folgenden wärmebehandlung besteht darin, daß der Kupferdraht durch eine Kaltumformung erzeugt wird.

[0032] Ein typischer Legierungsort wird dadurch definiert, daß der Begleiter dem Kupfer im Bereich einer Rinne zulegiert wird.

[0033] Ebenfalls ist es möglich, daß der Begleiter dem Kupfer im Bereich eines unteren Sumpfes zulegiert wird.

[0034] Gemäß einer weiteren Verfahrensvariante ist auch daran gedacht, daß der Begleiter dem Kupfer im Bereich einer Gießmulde zulegiert wird.

[0035] Ebenfalls ist es möglich, daß der Begleiter dem Kupfer im Bereich eines oberen Sumpfes zulegiert wird.

[0036] Gemäß einer alternativen Ausführungsform ist daran gedacht, daß der Begleiter dem Kupfer im Bereich eines Warmhalteofens zulegiert wird.

[0037] Schließlich ist es auch möglich, daß der Begleiter dem Kupfer im Bereich eines Schmelzestrahls zulegiert wird.

[0038] Eine vergleichsweise kleine Fördermenge im Bereich der Dosiereinrichtung kann dadurch erreicht werden, daß der Begleiter dem Kupfer im wesentlichen in Form einer Reinsubstanz zugeführt wird.

[0039] Eine genaue Dosierung sowie eine schnelle Verteilung des Begleiters in der Kupferschmelze wird dadurch unterstützt, daß der Begleiter dem Kupfer im wesentlichen in Form einer vorlegierung zugeführt wird.

[0040] Eine weitere Vergleichmäßigung der Materialqualität kann dadurch erreicht werden, daß ein Sauerstoffgehalt der Kupferschmelze gemessen und daß

Meßergebnis der Dosierregelung zugeführt wird.

[0041] Eine gleichmäßige Materialqualität auch bei sich ändernden Eingangsparametern wird dadurch unterstützt, daß der Anteil des im Kupfer enthaltenen Begleiters meßtechnisch erfaßt und in einem geschlossenen Regelkreis unter Verwendung der Dosiersteuerung sowie der Dosiereinrichtung entlang der Drahtlänge im wesentlichen konstant gehalten wird.

[0042] Eine gemeinsame Wirkung einer Mehrzahl in der Kupferschmelze enthaltener Begleiter kann dadurch berücksichtigt werden, daß von der Dosierregelung der Gesamtgehalt des Kupfers an allen Begleitern bei der Dosierung des ausgewählten Begleiters zur Festlegung der Dosiermenge berücksichtigt wird.

[0043] Eine Erfassung der Gießleistung wird dadurch unterstützt, daß der Ofen auf einer Wiegeeinrichtung angeordnet ist und die gegossene Drahtmenge/-länge gemessen wird.

[0044] Gemäß einer typischen Ausführungsform ist vorgesehen, daß der Ofen als ein Schmelzofen ausgebildet ist.

[0045] Gemäß einer anderen Ausführungsvariante ist es auch möglich, daß der Ofen als ein Gießofen ausgebildet ist.

[0046] Eine Erfassung des Sauerstoffgehaltes der Kupferschmelze wird dadurch unterstützt, daß die Dosierregelung mit einem Sensor zur Erfassung eines Sauerstoffgehaltes der Kupferschmelze verbunden ist.

[0047] In den Zeichnungen sind Ausführungsbeispiele der Erfindung schematisch dargestellt. Es zeigen:

Fig. 1 ein Diagramm zur veranschaulichung der Abhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit eines Kupferdrahtes in Abhängigkeit von Anteilen diverser Begleiter (Anmerkung: dies ist bekannt und einer Veröffentlichung entnommen)

Fig. 2 ein Diagramm zur veranschaulichung der Abhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit eines Kupferdrahtes in Abhängigkeit von einem Eisengehalt,

Fig. 3 ein Diagramm zur veranschaulichung der Abhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit eines Kupferdrahtes in Abhängigkeit von einem Phosphorgehalt bei zwei unterschiedlichen Sauerstoffgehalten,

Fig. 4 ein gegenüber Fig. 3 abgewandeltes Diagramm mit über dem Phosphorgehalt aufgetragener spezifischer elektrischer Leitfähigkeit auch bei höheren Phosphorgehalten,

Fig. 5 ein Diagramm mit vier Rekristallisationskurven zur Veranschaulichung der Erhöhung der Rekristallisationsschwelle bei verschiedenen Legierungselementen und -gehalten,

Fig. 6 eine beispielhafte Kornstruktur eines Kupferdrahtes entsprechend der vorliegenden Erfindung nach dem Test auf Wasserstoffbeständigkeit,

Fig. 7 eine Kornstruktur eines Kupferdrahtes mit zerstörten Korngrenzen bei Verwendung eines sauerstoffhaltigen Materials entsprechend dem Stand der Technik nach dem Test auf Wasserstoffbeständigkeit und

Fig. 8 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Herstellung eines Kupferdrahtes.

[0048] Fig. 1 zeigt die Abhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit von Kupfer bei einem Zusatz entsprechenden Mengen von Begleitern. Es ist generell zu erkennen, daß die Leitfähigkeit mit einem steigenden Gehalt des Begleiters deutlich abnimmt. Die Stärke der Abnahme ist dabei vom jeweiligen Begleiter abhängig. Die stärkste Abnahme der Leitfähigkeit bei den beispielhaft angegebenen Begleitern wird von Phosphor verursacht, die geringste Abnahme der Leitfähigkeit durch Cadmium.

[0049] Fig. 2 zeigt die Abhängigkeit der Leitfähigkeit eines Kupferdrahtes aus rekristallisiertem Kupfer mit einem Phosphorgehalt von weniger als 1 ppm und unterschiedlichen Eisengehalten. Im Rahmen der üblichen Streuung liegt im dargestellten Bereich ein näherungsweise linearer Zusammenhang zwischen der elektrischen Leitfähigkeit und dem Eisengehalt vor.

[0050] Fig. 3 zeigt die Abhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit eines Kupferdrahtes aus rekristallisiertem Kupfer in Abhängigkeit von einem Phosphorgehalt zum einen bei einem Sauerstoffgehalt von weniger als 5 ppm und zum anderen bei einem Sauerstoffgehalt im Bereich von 30 bis 40 ppm. Auch hier liegt im dargestellten Bereich eine im wesentlichen lineare Abhängigkeit vor.

[0051] Fig. 4 veranschaulicht die Abhängigkeit der spezifischen elektrischen Leitfähigkeit eines Kupferdrahtes in Abhängigkeit vom Phosphorgehalt. Darüber hinaus ist explizit die funktionelle Abhängigkeit angegeben.

[0052] Fig. 5 veranschaulicht die Veränderung der Zugfestigkeit eines kaltumgeformten Kupferdrahtes in Abhängigkeit von der Temperatur einer vorgeschalteten Glühbehandlung bei Anwesenheit unterschiedlicher Begleiter bzw. unterschiedlichen Begleitermengen (Rekristallisationskurven). Zum Vergleich ist die Kurve für sauerstoffreies Reinkupfer eingezeichnet. Es ist zu erkennen, daß ein zunehmender Anteil insbesondere von Phosphor als Begleiter eine deutliche Erhöhung der Rekristallisationstemperatur zur Folge hat.

[0053] Gemäß einem Ausführungsbeispiel wird hochreines Elektrolytkupfer mit einem Kupfergehalt von größer als 99,95 Gewichtsprozent verwendet und als Begleiter Phosphor mit einem Anteil im Bereich von 5 ppm bis 60 ppm zugesetzt. Entsprechend der Darstellung in

Fig. 3 führt ein derartiger Phosphorgehalt nur zu einer vergleichsweise geringen Abnahme der elektrischen Leitfähigkeit, gemäß Fig. 5 jedoch zu einer erheblichen Steigerung der Zugfestigkeit nach bestimmten Kaltumformungen und Wärmebehandlungen. Alternativ zur Verwendung von Phosphor erweisen sich als Begleiter auch Bor oder Lithium als vorteilhaft. Der dem Kupfer zulegierte Begleiter lagert sich zum einen an den Korngrenzen der einzelnen Kristallisationskörner des Kupfers (als Oxid oder auch teilweise elementar) an, ein weiterer Anteil des Begleiters wird auch im Kristallisationsgitter selbst eingelagert. Die kombinierte Einlagerung des Begleiters sowohl innerhalb des Gitters als auch an den Korngrenzen führt zu besonders günstigen Weiterverarbeitungseigenschaften.

[0054] Durch die Zulegierung des Begleiters bilden sich in der Kupferschmelze Cu-P-O-Keime, die eine homogene und gleichzeitig feinkörnige Erstarrung mit stabilen Korngrenzen herbeiführen. Beim oben angegebenen Ausführungsbeispiel kann nach einer Warmumformung bzw. bei einer Kaltumformung mit nachfolgender Wärmebehandlung zur Rekristallisation eine mittlere Korngröße mit einem Durchmesser im Bereich von 30 Mikrometer oder darunter erzielt werden.

[0055] Fig. 6 zeigt eine beispielhafte Kornstruktur für einen Kupferdraht entsprechend dem Ausführungsbeispiel nach Wärmebehandlung in reduzierender Atmosphäre mit 100 % Wasserstoff, einer Behandlungstemperatur von 850 °C und einer Behandlungszeit von 30 Minuten. Fig. 7 zeigt einen konventionellen sauerstoffhaltigen Werkstoff nach einer gleichartigen Behandlung. Fig. 6 veranschaulicht somit die deutlich kleineren Kornstrukturen sowie die räumlich gering ausgedehnte Dimensionierung der Korngrenzen. (Anm.: sollen diese Bilder auch gezeichnet werden? Sonst muß ich noch bessere Bilder anfertigen lassen)

[0056] Fig. 8 veranschaulicht den Aufbau einer Vorrichtung zur Erzeugung des Kupferdrahtes. Eine in einem Ofen (1) erzeugte Kupferschmelze (2) wird einer Gießeinrichtung (3) zugeführt. Ein von der Gießeinrichtung (3) bereitgestelltes Rohprofil (4) wird in einer nachfolgenden Weiterverarbeitungseinrichtung (5) in einen Kupferdraht (6) umgeformt. Der Ofen (1) steht auf einer mit einem Sensor (7) versehenen Wiegeeinrichtung (8). Die Wiegeeinrichtung (8) ist mit einer Dosierregelung (9) verbunden, die eine Dosiereinrichtung (10) für den Begleiter steuert. Die Dosierregelung (9) ist zusätzlich an eine Einrichtung (11) zur Erfassung einer Gießleistung angeschlossen.

[0057] Das Zulegieren des Begleiters kann beispielsweise in einer Rinne zwischen einem Schmelzofen und einem Warmhalteofen erfolgen. Ebenfalls ist es möglich, daß Zulegieren in einem unterem Sumpf oder in einer Gießmulde durchzuführen. Darüber hinaus ist auch daran gedacht, das Legieren im oberen Sumpf oder im Warmhalteofen selbst durchzuführen. Ebenfalls ist es denkbar, Kupfer mit einem Anteil des gewählten Begleiters bereits im Schmelzofen einzusetzen. Die Zu-

fuhr des Kupfers mit Begleiteranteil kann zum Beispiel als Bruch Einsatz in verschnittener Form erfolgen. Eine weitere Ausführungsvariante besteht darin, die Zulegierung direkt in einem Schmelzestrahle über dem Bad in der Kokille bzw. in der Gießdüse selbst durchzuführen.

[0058] Von der Dosiereinrichtung (10) kann der Begleiter in Reinform oder in Form einer Vorlegierung zugeführt werden. Als Vorlegierung kann beispielsweise Kupfer mit einem Anteil des Begleiters im Bereich von 10 % bis 50 % verwendet werden. Der Begleiter oder die Vorlegierung werden in stückiger oder feinkörniger Form zugeführt. Bewährt hat sich insbesondere eine Zugabe mit kugelförmigen Partikeln. Alternativ kann auch eine Zufuhr von Legierungsdraht oder von Masseln erfolgen.

[0059] Unter Verwendung der in Fig. 8 beispielhaft eingezeichneten wiegeeinrichtung (8) sowie der Einrichtung (11) zur Erfassung der Gießleistung ist es möglich, einen Volumendurchsatz der Schmelze am Ort der Legierung kontinuierlich zu bestimmen. Aufgrund der vorliegenden Meßwerte kann die Dosierregelung (9) eine Mengenbilanz ermitteln und die erforderliche Dosiermenge bestimmen. Bevorzugt ist eine kontinuierliche Zuführung des Begleiters, bei Bereitstellung einer ausreichenden Mischung der Materialien vor einer Erstarrung ist aber auch eine diskontinuierliche Zuführung des Begleiters möglich.

[0060] Bei unbekanntem oder schwankendem Sauerstoffgehalt der Kupferschmelze erweist es sich darüber hinaus als vorteilhaft, eine kontinuierliche oder zumindest diskontinuierliche Messung des Sauerstoffgehaltes am Ort der Legierung durchzuführen. Ein innerhalb einer Toleranz erhöhter Sauerstoffgehalt macht eine erhöhte Zufuhrmenge des Begleiters erforderlich, um am erstarrten Produkt den vorgegebenen Anteil des Begleiters zu realisieren.

[0061] Eine weitere Verbesserung der Gleichmäßigkeit des Anteiles des Begleiters entlang der Drahtlänge kann dadurch erreicht werden, daß kontinuierlich oder zumindest diskontinuierlich ein Ist-Gehalt des Legierungselementes im erstarrten Draht bestimmt wird. Dies kann beispielsweise spektrometrisch erfolgen. Gemäß einer vereinfachten Verfahrensvariante wird der Gehalt des Legierungselementes vor einer Erstarrung des Drahtes in der Schmelze durch Sonden bestimmt.

[0062] Die durch das erfindungsgemäße Verfahren erreichten kleinen Korngrößen führen auch zu stabileren Korngrenzen, die erhöhte Umformgrade sowie höhere Umformgeschwindigkeiten zulassen. Dies hat insbesondere bei der Kaltumformung eine erhebliche Bedeutung. Darüber hinaus bildet sich durch die kleineren Korngrößen bei einer spanenden Bearbeitung ein kurzer Bruchspan, der eine optimierte Prozeßführung ermöglicht. Ebenfalls zeigen entstehende Schnittkanten einen kleineren Einzug, einen kleineren Grad sowie eine kleinere Scherbruchzone als konventionelle Materialien.

[0063] Ein weiterer Vorteil der kleineren Kornstruktu-

ren liegt darin, daß bei einer Kaltumformung auf einer Oberfläche des Formlings weniger deutliche Fließfiguren entstehen. Die Anteile des Begleiters führen darüber hinaus zu einer vergrößerten Korrosionsbeständigkeit.

[0064] Gemäß einem Ausführungsbeispiel, bei dem dem Kupfer ein Anteil von 55 ppm Phosphor zugesetzt wird, kann die Rekristallisationstemperatur um etwa 80 bis 100 ° C erhöht werden. Dies führt sowohl zu einer hohen Leitfähigkeit als auch zu einer erhöhten Warmfestigkeit.

[0065] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel wird eine Kupferschmelze mit einem Kupferanteil von größer 99,995 % und einem Sauerstoffgehalt im Vorlauf von weniger als 5 ppm verwendet. Es wird hierbei ein Phosphorgehalt von 5 bis 10 ppm eingestellt. Hierdurch kann eine Leitfähigkeit von mindestens 101 % IACS bei kleinen Korngrößen erreicht werden. Um eine Leitfähigkeit von mindestens 100 % IACS zu erreichen, wird ein Phosphorgehalt zwischen 5 und 20 ppm, vorzugsweise zwischen 15 und 20 ppm gewählt. Für eine Leitfähigkeit von mindestens 98,3 % IACS erweist sich ein Phosphorgehalt im Bereich von 5 bis 30 ppm, vorzugsweise im Bereich von 25 bis 30 ppm als zweckmäßig.

[0066] Die durch die vorgeschlagenen Anteile des Begleiters in der Kupferschmelze erreichten kleinen Korngrößen weisen darüber hinaus den Vorteil auf, daß das Kupfer unempfindlich auf Fehler bei einer wärmebehandlung reagiert. Insbesondere bei zu langen Glühzeiten tritt eine sekundäre Rekristallisation erst deutlich später auf.

Patentansprüche

1. Kupferdraht, der einen mittleren Kupfergehalt von mindestens 99,95 Gewichtsprozenten sowie mindestens einen dem Kupfer zulegierten Begleiter aufweist, **dadurch gekennzeichnet, daß** ein Quotient aus dem Gewichtsanteil des Begleiters und einem Gewichtsanteil eines Restsauerstoffgehaltes einen Wert im Intervall von 0,8 bis 1,7 aufweist und daß der Gewichtsanteil des Begleiters entlang einer Drahtlänge um maximal 25 % bezogen auf den maximalen Gewichtsanteil des Begleiters variiert.
2. Kupferdraht nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Begleiter aus Phosphor ausgebildet ist.
3. Kupferdraht nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Begleiter aus Bor ausgebildet ist.
4. Kupferdraht nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Begleiter aus Lithium ausgebildet ist.
5. Kupferdraht nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **da-**

durch gekennzeichnet, daß der Begleiter mit einem Anteil von 5 ppm bis 60 ppm im Kupfer enthalten ist.

- 5 6. Kupferdraht nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, daß** eine mittlere Korngröße höchstens 30 Mikrometer beträgt.
- 10 7. Kupferdraht nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Begleiter mindestens teilweise an den jeweiligen Korngrenzen angelagert ist.
- 15 8. Kupferdraht nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Begleiter mindestens teilweise in das Atomgitter der jeweiligen Körner eingelagert ist.
- 20 9. Kupferdraht nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Anteil des Begleiters entlang der Drahtlänge bezogen auf seinen maximalen Gewichtsanteil um höchstens 20 % variiert.
- 25 10. Verfahren zur Herstellung eines Kupferdrahtes mit einem mittleren Kupfergehalt von mindestens 99,95 Gewichtsprozenten, bei dem dem Kupfer mindestens ein Begleiter zulegiert wird und bei dem der Herstellungsprozeß einen Gießvorgang umfaßt, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Kupferschmelze bis zu einer Erstarrung gegenüber einer Umgebungsatmosphäre geschützt wird und daß die Begleiter in einer Menge derart zulegiert wird, daß ein Quotient aus dem Gewichtsanteil des Begleiters und einem Gewichtsanteil eines Restsauerstoffgehaltes in der Kupferschmelze auf einen Wert im Intervall von 0,8 bis 1,7 eingestellt und der Quotient entlang der Drahtlänge im wesentlichen konstant gehalten wird.
- 30 11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, daß** ein Gehalt des Begleiters im Kupfer von mindestens einer Prüfsonde erfaßt wird.
- 35 12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Gehalt des Begleiters von der Prüfsonde im Bereich des geschmolzenen Kupfers erfaßt wird.
- 40 13. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Gehalt des Begleiters von der Prüfsonde im Bereich des erstarrten Drahtes erfaßt wird.
- 45 14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, daß** über den Gehalt des Begleiters im Kupfer die Leitfähigkeit des Kupfers eingestellt wird.
- 50
- 55

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, daß** dem Kupfer bei einem erhöhten Sauerstoffgehalt ein erhöhter Anteil des Begleiters zugesetzt wird.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Kupferdraht durch direktes Gießen erzeugt wird.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Kupferdraht durch Gießen und eine Warmumformung erzeugt wird.
18. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Kupferdraht durch eine Kaltumformung erzeugt wird.
19. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 18, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Begleiter dem Kupfer im Bereich einer Rinne zulegiert wird.
20. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 18, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Begleiter dem Kupfer im Bereich eines unteren Sumpfes zulegiert wird.
21. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 18, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Begleiter dem Kupfer im Bereich einer Gießmulde zulegiert wird.
22. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 18, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Begleiter dem Kupfer im Bereich eines oberen Sumpfes zulegiert wird.
23. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 18, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Begleiter dem Kupfer im Bereich eines Warmhalteofens zulegiert wird.
24. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 18, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Begleiter dem Kupfer im Bereich eines Schmelzestrahls zulegiert wird.
25. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 24, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Begleiter dem Kupfer im wesentlichen in Form einer Reinsubstanz zugeführt wird.
26. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 24, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Begleiter dem Kupfer im wesentlichen in Form einer Vorlegierung zugeführt wird.
27. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 26, **dadurch gekennzeichnet, daß** ein Sauerstoffgehalt der Kupferschmelze gemessen und das Meßergebnis der Dosierregelung zugeführt wird.
28. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 27, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Anteil des im Kupfer enthaltenen Begleiters meßtechnisch erfaßt und in einem geschlossenen Regelkreis unter Verwendung der Dosiersteuerung sowie der Dosiereinrichtung entlang der Drahtlänge im wesentlichen konstant gehalten wird.
29. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 28, **dadurch gekennzeichnet, daß** von der Dosierregelung der Gesamtgehalt des Kupfers an allen Begleitern bei der Dosierung des ausgewählten Begleiters zur Festlegung der Dosiermenge berücksichtigt wird.
30. Vorrichtung zur Herstellung eines Kupferdrahtes, die mindestens einen Ofen zur Bereitstellung einer Kupferschmelze und eine Gießeinrichtung aufweist, **dadurch gekennzeichnet, daß** eine Dosiereinrichtung (10) zur Zulegierung mindestens eines Begleiters an eine Dosierregelung (9) angeschlossen ist, die mit mindestens einem Sensor (7) zur Erfassung eines Ofengewichtes sowie einer Einrichtung (11) zur Erfassung einer Gießleistung verbunden ist.
31. Vorrichtung nach Anspruch 30, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Ofen auf einer wiegeeinrichtung (8) angeordnet ist.
32. Vorrichtung nach Anspruch 30 oder 31, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Ofen als ein Schmelzofen ausgebildet ist.
33. Vorrichtung nach Anspruch 30 oder 31, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Ofen als ein Gießofen ausgebildet ist.
34. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 33, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Dosierregelung mit einem Sensor zur Erfassung eines Sauerstoffgehaltes der Kupferschmelze verbunden ist.

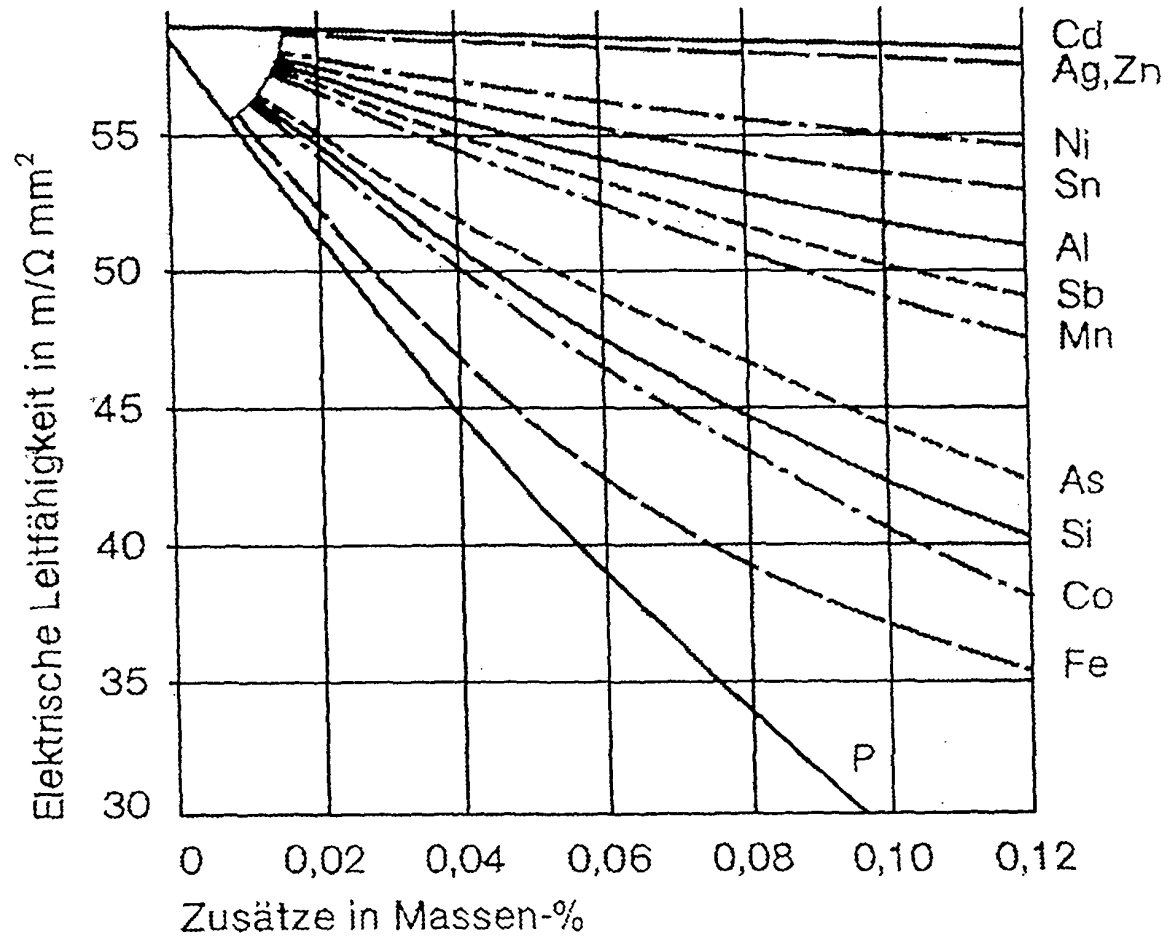


FIG.1

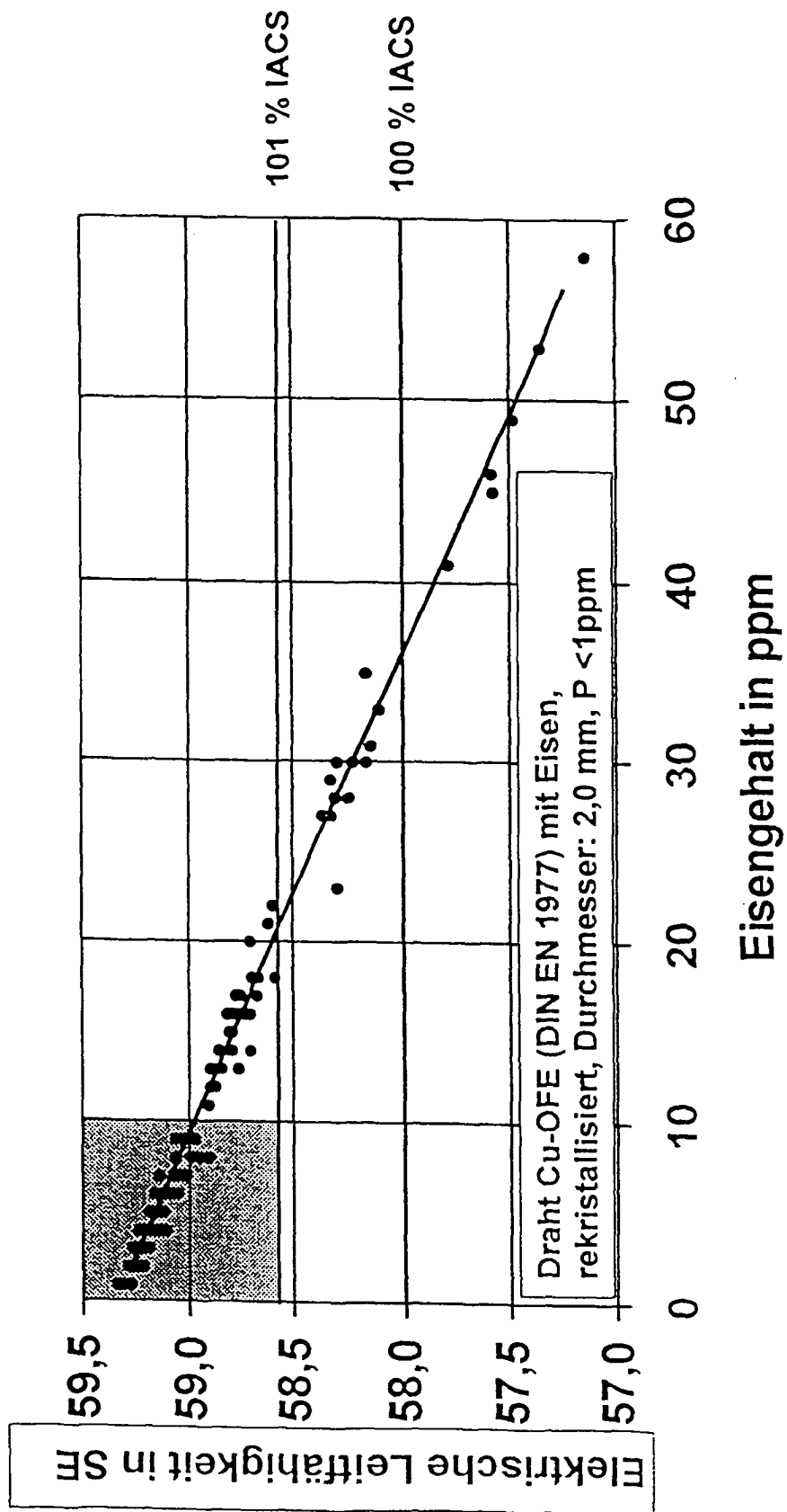


FIG. 2

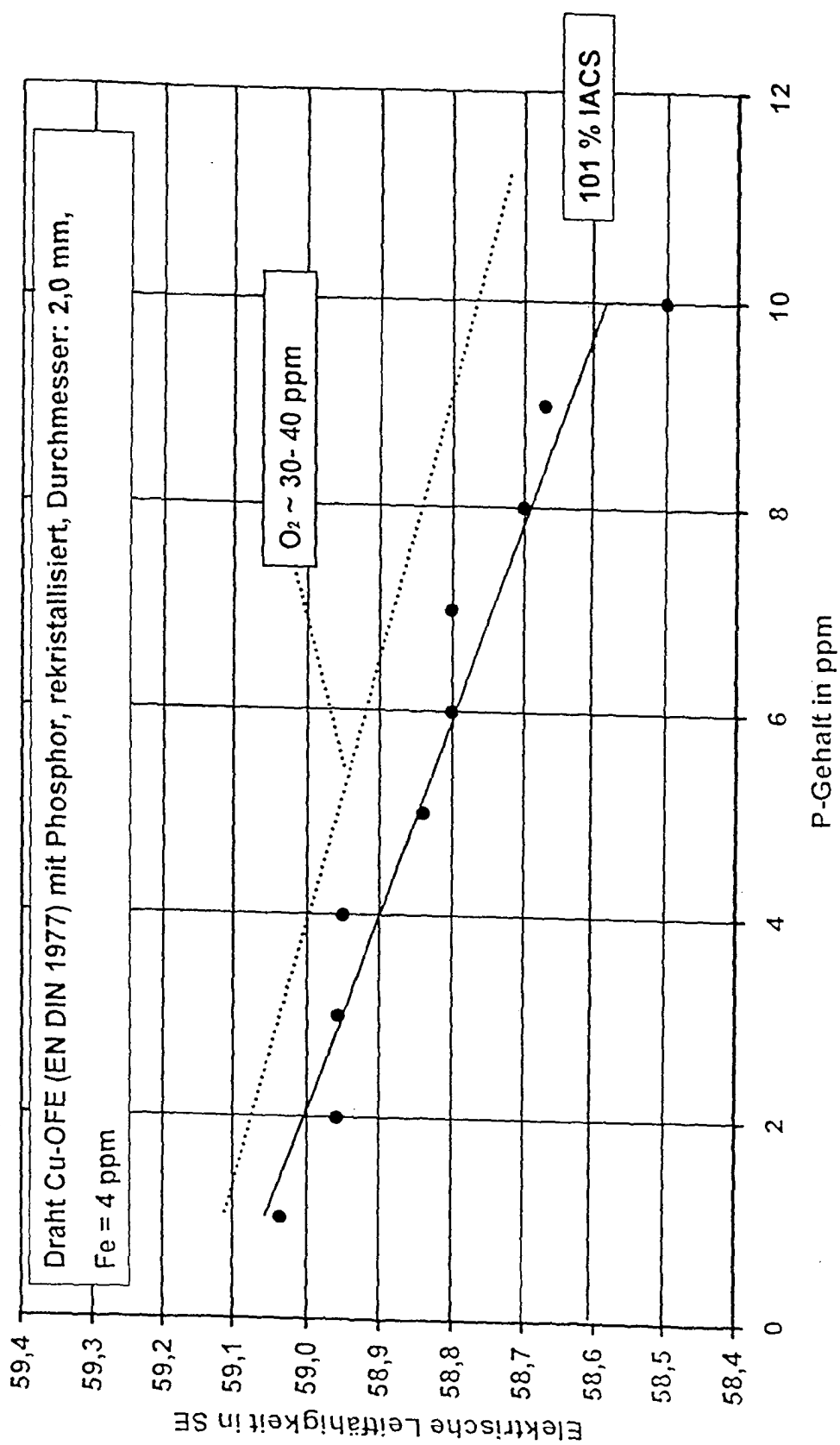


FIG.3

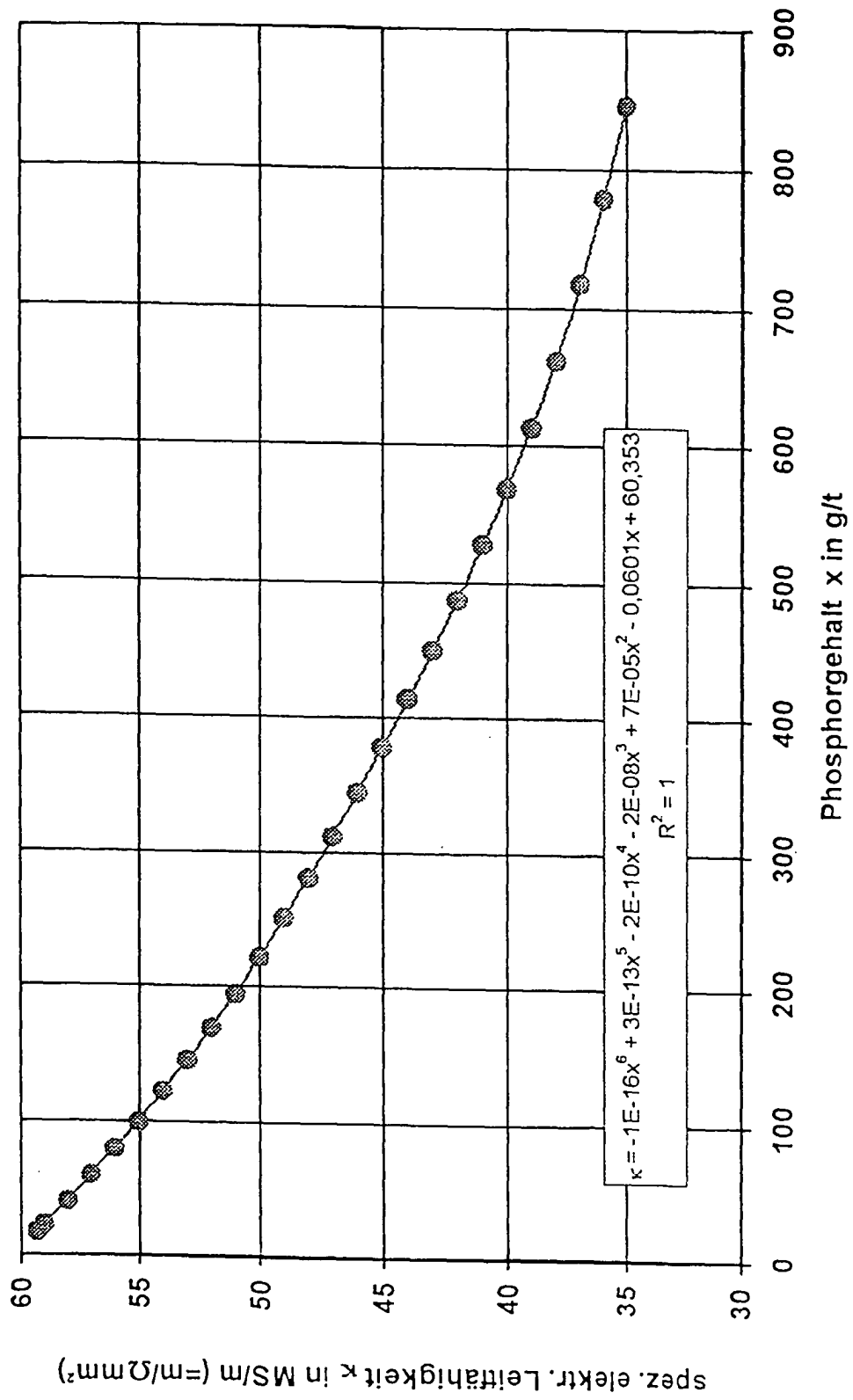


FIG. 4

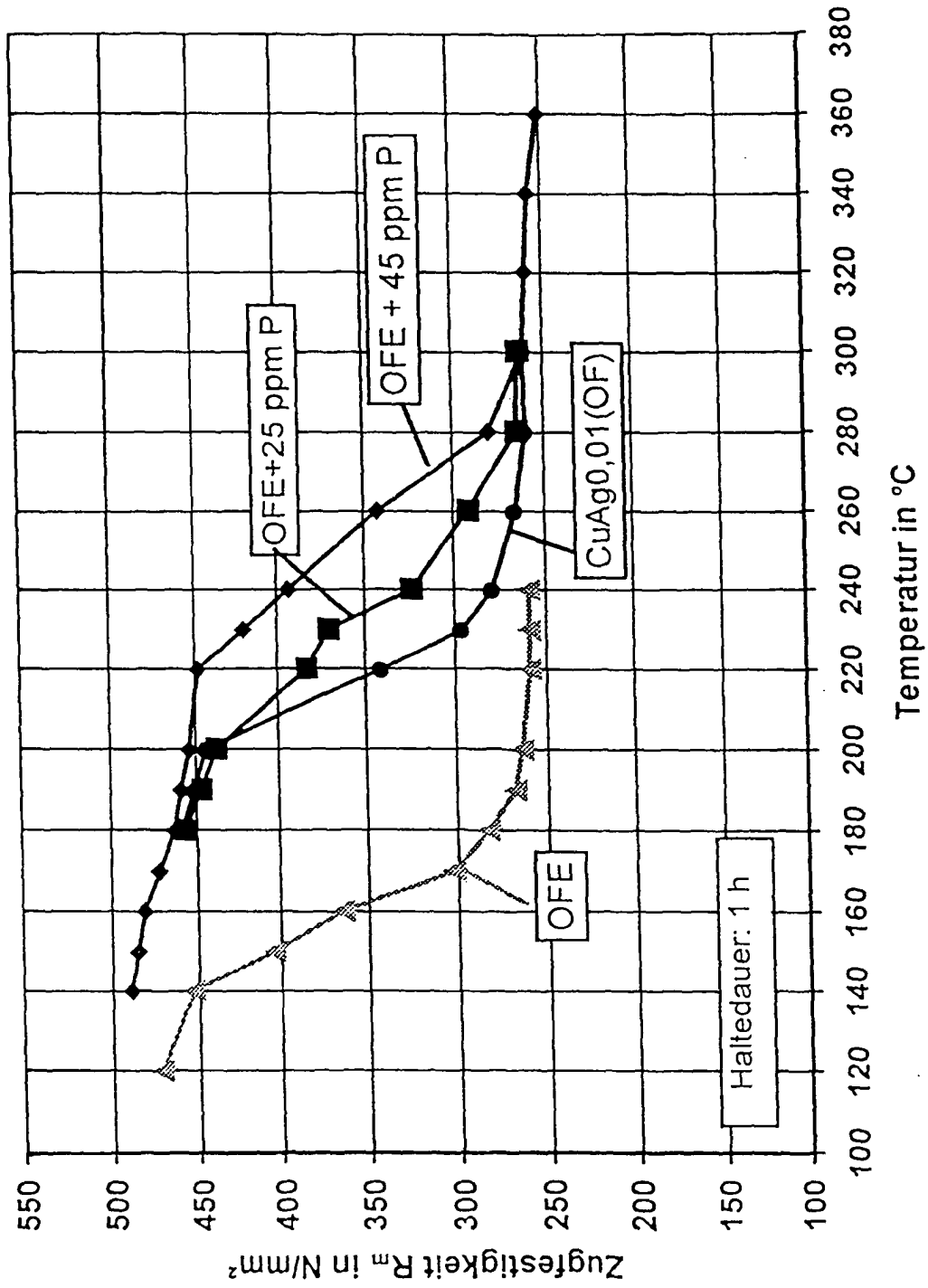


FIG.5

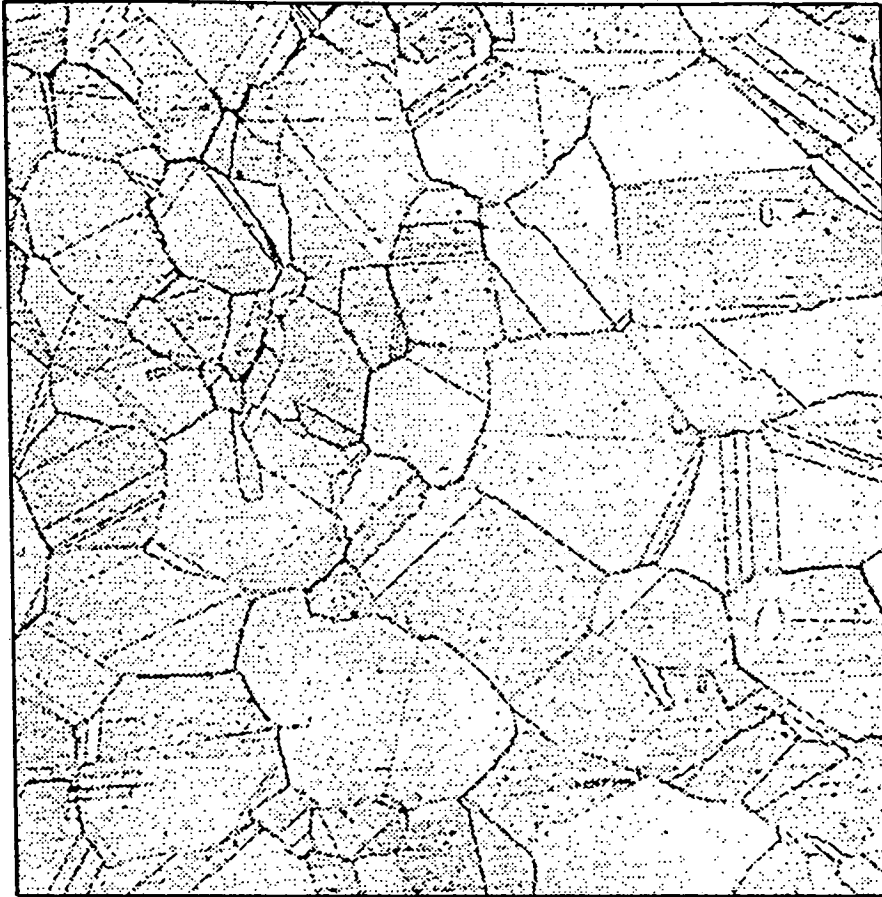


FIG. 6



FIG. 7

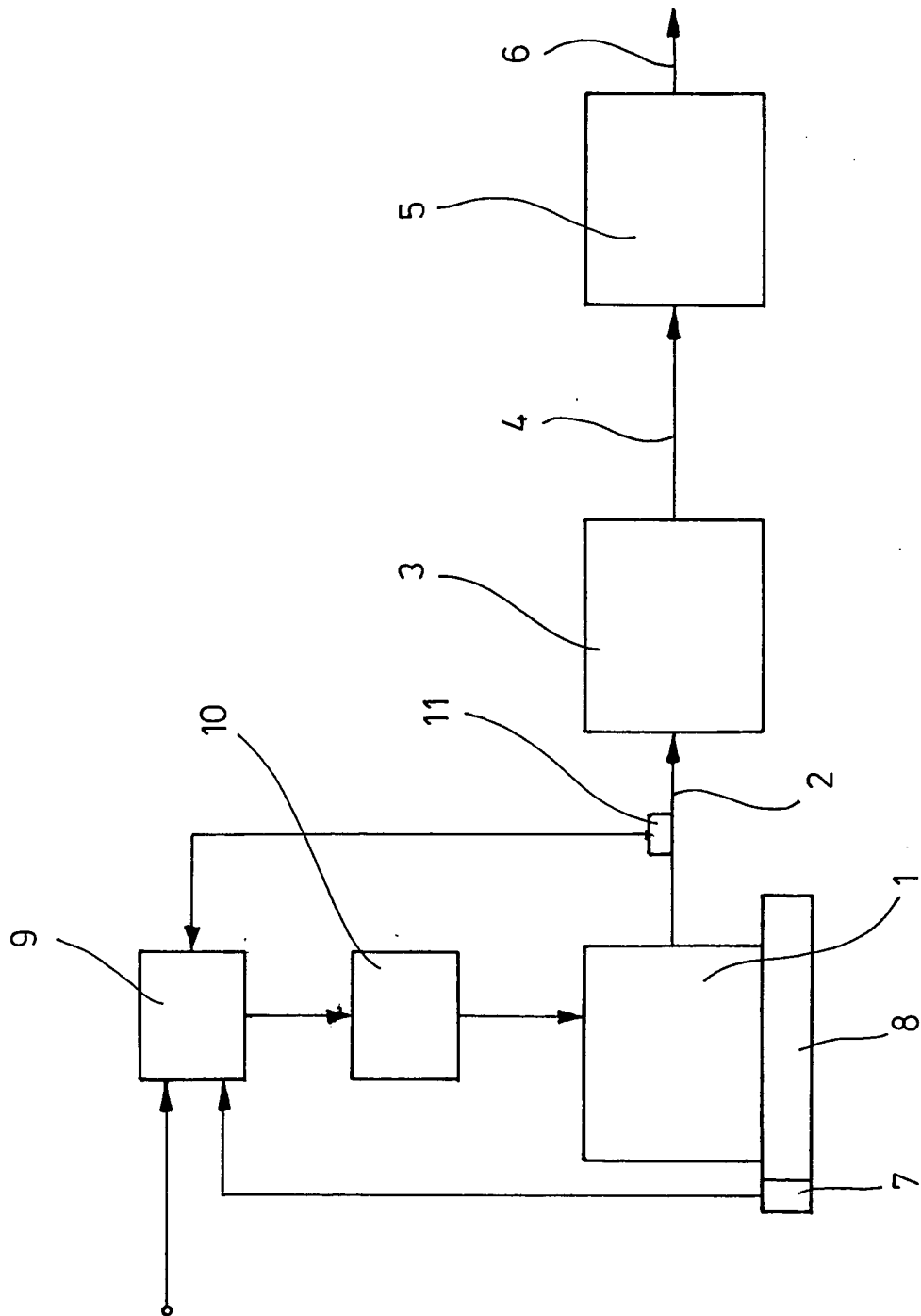


FIG.8