



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2013 009 767.3**

(22) Anmeldetag: **11.06.2013**

(43) Offenlegungstag: **11.12.2014**

(51) Int Cl.: **B23H 7/08 (2006.01)**

(71) Anmelder:

Heinrich Stamm GmbH, 58644 Iserlohn, DE

(74) Vertreter:

**SNP Schlawien Partnerschaft mbB, 10719 Berlin,
DE**

(72) Erfinder:

Franc, André, Givrins, CH

(56) Ermittelter Stand der Technik:

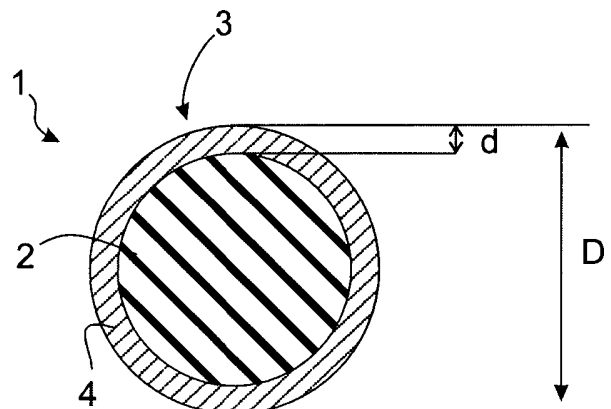
DE	196 35 775	A1
DE	199 13 694	A1
DE	600 12 369	T2
DE	600 32 548	T2
DE	601 05 410	T2
FR	2 936 727	A1
US	2013 / 0 119 023	A1
EP	0 794 026	A1
WO	2005/ 097 387	A1
JP	S60- 94 227	A

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Drahtelektrode zum funkenerosiven Schneiden von Gegenständen**

(57) Zusammenfassung: Um eine Drahtelektrode (1) für die Funkenerosion mit einem Gesamtdurchmesser (D) zwischen 0,05 und 0,4 mm, einem inneren aus Stahl bestehenden Stahlkern (2) und einem den Stahlkern (2) umgebenden äußeren Mantel (3), bereitzustellen, die kostengünstig ist und gleichzeitig die an sie gestellten mechanischen und elektrischen Anforderungen erfüllt, wird vorgeschlagen, dass der Mantel (3) eine Eisen-Zink-Legierungsschicht (4) aufweist und die Dicke (d) der Eisen-Zink-Legierungsschicht an ihrer dünnsten Stelle größer als 5% des Gesamtdurchmessers (D) und an ihrer dicksten Stelle kleiner als 25% des Gesamtdurchmessers (D) ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Drahtelektrode für die Funkenerosion mit einem Gesamtdurchmesser zwischen 0,05 und 0,4 mm, einem inneren aus Stahl bestehenden Stahlkern und einem den Stahlkern umgebenden äußeren Mantel.

[0002] Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur Herstellung einer solchen Drahtelektrode.

[0003] Eine Drahtelektrode der eingangs genannten Art ist aus der DE 196 35 775 A1 bereits bekannt. Die dort offenbarte Drahtelektrode besteht aus einem Stahlkern, der von einer Messingschicht umgeben ist. Das Messing bildet eine so genannte alpha-Phase aus. Das alpha-Messing ist seinerseits von einer Außenschicht umgeben, die aus beta-Messing besteht.

[0004] Die US 2004 089 636 offenbart eine Drahtelektrode mit einem Stahlkern, der als feiner Draht ausgestaltet und von einer Mantelschicht aus Zink oder aus einer Zink-Aluminium-Legierung umgeben ist.

[0005] Die EP 0 794 026 beschreibt eine Drahtelektrode mit einem Stahlkern und einem diesen umschließenden Mantel aus Kupfer, Nickel oder Zink.

[0006] In der FR 2 936 727 ist eine Drahtelektrode mit einem metallischen Kern beschrieben, die eine äußere Mantelschicht aus einer Eisen-Zinklegierung aufweist. Die Eisen-Zinklegierung wurde durch das abschließende Ziehen der Drahtelektrode aufgebrochen, so dass der Mantel Risse aufweist.

[0007] Bei den in diesen Schutzrechten beschriebenen Drähten besteht der Kern aus Kohlenstoffstahl oder einem legierten Stahl. Der vorgeschlagene Stahlkern zielt auf eine hohe Zugfestigkeit ab, so dass auch hohe mechanische Spannungen in der Bearbeitungszone sicher aufgenommen werden können. In der Praxis wäre eine möglichst hohe Zugspannung des Drahtes vorteilhaft, da ein stärker gespannter Draht bei der Bearbeitung eines Werkstücks weniger Störanfällig ist und weniger dazu neigt, von seiner gewünschten Positionierung abzuweichen. Daher waren die Hersteller solcher Drähte bestrebt, die Zugfestigkeit des Stahls zu maximieren, aus dem der Kern der vorgeschlagenen Drahtelektroden gefertigt werden sollte.

[0008] Diesen vorgeschlagenen Drähte haftete jedoch folgender Nachteil an: Übliche Funkenerosionsmaschinen sind mit mechanischen Vorrichtungen für die Drahtabwicklung, den Drahtverlauf und die Drahtführung ausgerüstet, die mit einer Reihe von zerbrechlichen Kunststoffrollen und Transportriemen bestückt sind. Da diese Vorrichtungen für Drähte aus weicherem Messing ausgelegt wurden, würde der

Einsatz von Stahldrähten zu deren vorzeitiger Abnutzung führen mit Ausfallzeiten und einem erhöhten Wartungsaufwand im Gefolge.

[0009] In der Praxis sollte der Durchmesser von Drahtelektroden, die einen Stahlkern aufweisen, von Anforderung zu Anforderung variieren können. Dünnere Drähte, in der Größe eines Haares, sind zwar von sich aus ausreichend biegsam. Ihnen muss jedoch eine hohe Bruchspannung aufgeprägt werden, um ein Zerreißen bei der Bearbeitung eines Werkstücks zu vermeiden. Dickere Drahtelektroden sind hingegen gegenüber Brüchen widerstandsfähiger. Sie weisen jedoch oftmals eine zu schlechte Flexibilität und Dehnbarkeit auf, um den Anforderungen der Abwicklungs-, automatische Einfädel-, Führungs- und Hacksysteme gerecht zu werden.

[0010] Ein Stahlkern weist ferner eine schlechte elektrische Leitfähigkeit auf. Dies kann zu unerwünschten lokalen Erwärmungen führen, so dass die auf diese Weise aufgeheizte Drahtelektrode zerreißen kann.

[0011] Bekannte aus Messing bestehende Drahtelektroden verfügen an ihrer dem zu bearbeitenden Werkstück zugewandten Oberfläche über einen wirksamen Zinkanteil. Die sofortige Verdampfung und Oxidation des Zinks verhindert, dass geschmolzene Metallteilchen des Werkstücks sich in dem Bearbeitungsschlitz auf der Rückseite der Drahtelektrode ablagern. Eine solche Ablagerung würde zu ungewollten Drahtbrüchen führen und die Bearbeitungsleistung der Drahtelektrode deutlich senken. Es ist also vorteilhafter, Drähte zu verwenden, dessen Bedeckungsmaterialien bei der Bearbeitung sofort oxidieren. Unter diesem Gesichtspunkt ist das im Messing enthaltene Kupfer eine schlechte Wahl trotz der Vorteile, die mit seiner elektrischen Leitfähigkeit verbunden sind. Das mit Zink legierte Eisen wurde wegen seiner Oxidierbarkeit als guter Ersatz für Kupfer betrachtet. Die bislang vorgeschlagenen Drahtelektroden weisen jedoch Mantelschichten auf, die durch einen vorzeitigen Verschleiß gekennzeichnet waren, so dass sich die Wirkung der Legierung dieser Mantelschichten nicht entfalten konnte.

[0012] Aufgabe der Erfindung ist es, eine Drahtelektrode der eingangs genannten Art bereitzustellen, die kostengünstig ist und gleichzeitig die an sie gestellten mechanischen und elektrischen Anforderungen erfüllt.

[0013] Die Erfindung löst diese Aufgabe dadurch, dass der Mantel eine Eisen-Zink-Legierungsschicht aufweist und die Dicke der Eisen-Zink-Legierungsschicht an ihrer dünnsten Stelle größer als 5% des Gesamtdurchmessers und an ihrer dicksten Stelle kleiner als 25% des Gesamtdurchmessers ist.

[0014] Erfindungsgemäß ist eine Drahtelektrode mit einem Stahlkern bereitgestellt, welcher der Drahtelektrode in erster Linie die für die Funkenerosion geforderten mechanischen Eigenschaften aufprägt. Die hierfür ebenfalls erforderlichen elektrischen Eigenschaften in Gestalt einer ausreichend elektrischen Leitfähigkeit werden der Drahtelektrode im Wesentlichen durch den Mantel mit seiner Eisen-Zink-Legierungsschicht bereitgestellt, die eine hierfür notwendige Dicke zwischen 5% und 25% bezogen auf den Gesamtdurchmesser der Drahtelektrode aufweist. Die im Rahmen der Erfindung geforderte minimale und maximale Dicke der Eisen-Zink-Legierungsschicht stellt einen optimalen Kompromiss für den gesamten Durchmesserbereich der Drahtelektrode dar. Auf diese Art und Weise werden die beiden oben genannten Eigenschaften in einem für die Funkenerosion ausreichenden Maße bereitgestellt. Zum einen weist die erfindungsgemäße Drahtelektrode eine Leitfähigkeit auf, die derjenigen eines Messingdrahtes nahe kommt. Darüber hinaus ist eine mit den Standards marktüblicher Funkenerosionsmaschinen kompatible Bruchfestigkeit geschaffen. Eine Eisen-Zink-Legierungsschicht mit einer Dicke, die über den geforderten Bereich hinausgeht, würde zwar für eine ausreichend große elektrische Leitfähigkeit der Drahtelektrode sorgen. Eine zu dicke Eisen-Zink-Legierungsschicht würde jedoch die Bruchfestigkeit der Drahtelektrode herabsetzen, so dass es bei der Funkenerosion zu einem Zerreißen der Drahtelektrode kommt. Eine zu dünne Eisen-Zink-Legierungsschicht würde hingegen bedeuten, dass die Drahtelektrode keine ausreichend große Leitfähigkeit aufweist, da der elektrische Strom auf Grund des vergleichsweise schlecht leitenden Stahlkerns im Wesentlichen über die Eisen-Zink-Legierungsschicht geführt wird.

[0015] Liegt die Dicke der Eisen-Zink-Legierungsschicht bei etwa 5% des Drahtdurchmessers, ist es notwendig, die Bearbeitungsparameter der Funkenerosionsmaschine so einzustellen, dass das Risiko eines Drahrisses herabgesetzt ist. Diese Parameterumstellung kann jedoch die Bearbeitungsleistungen beeinträchtigen.

[0016] Die Eisen-Zink-Legierungsschicht der erfindungsgemäßen Drahtelektrode stellt darüber hinaus sicher, dass ein ausreichendes Eisen- und Zinkvolumen in die Bearbeitungszone eingeführt wird, so dass diese für die Bearbeitung zwingend erforderlichen Metalle bei einem Einsatz nicht vorschnell verbraucht werden.

[0017] Unter dem Begriff „Dicke“ einer Schicht ist die einfache Dicke der besagten Schicht an einer Seite der Drahtelektrode zu verstehen.

[0018] Vorteilhafterweise bildet die erfindungsgemäße Drahtelektrode einen in Längsrichtung der Drahtelektrode durchgängig leitenden Strompfad im Man-

tel aus. Hierzu ist die Eisen-Zink-Legierungsschicht durchgängig elektrisch leitend ausgebildet und frei von Unterbrechungen. Durch diese elektrisch kontinuierliche Ausbildung ist sichergestellt, dass die Eisen-Zink-Legierungsschicht mit der geforderten Dimensionierung den Strompfad, der einen niedrigen elektrischen Widerstand aufweist, im Mantel durchgängig ausbildet. Im Rahmen der Erfindung ist grundsätzlich beliebig, wie die elektrische Kontinuität der Schicht herbeigeführt wird. So ist es im Rahmen der Erfindung beispielsweise möglich, dass die Eisen-Zink-Legierungsschicht mehrere Legierungsphasen aufweist, die in einer Querschnittsansicht konzentrische Ringe um den Stahlkern ausbilden. Die Eisen-Zink-Legierungsschicht kann auch aus drei Phasen bestehen, von denen zwei überwiegend sind.

[0019] Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung bildet die Eisen-Zink-Legierungsschicht jedoch eine dichte Packung von Schichtelementen aus, wobei die Schichtelemente einander kontaktieren. Der Kontakt der Schichtelemente ist notwendig, da ansonsten keine leitende Verbindung zwischen den Schichtelementen geschaffen und der Strom nicht ungehindert über die Eisen-Zinklegierung fließen könnte. Mit anderen Worten gewährleistet die Eisen-Zink-Legierungsschicht, dass die Stromdichte während des Betriebs der Drahtelektrode im Mantel nicht zu null wird. Der Begriff Schichtelemente soll beliebig geformte Legierungsabschnitte also beispielsweise Filme, Schuppen, Lamellen, Körner oder Klumpen oder dergleichen umfassen. Schichtelemente können beispielsweise mit Hilfe eines Mikroskops erkannt werden, wobei dem Mikroskopieren eine geeignete chemische Behandlung voraus gehen kann. Mit anderen Worten bilden die Schichtelemente eine dichte Textur aus Filmen, Schuppen, Lamellen, Körnern oder Klumpen aus, die beispielsweise aus verschiedenen Legierungsphasen bestehen. Die dichte Packung ist vorteilhafterweise eine gasdichte Packung.

[0020] Sowohl eine kontinuierliche Ausbildung der Eisen-Zink-Legierungsschicht als auch ein gasdichter Verband einander kontaktierender Schichtelemente verbessert den Schutz des Stahlkerns vor unerwünschten Oxidationsvorgängen. Da das Eisen des Kerns ein leicht oxidierbares Metall ist, kann ein schlecht gelagerter und ungenügend geschützter Draht verkommen und unbrauchbar werden. Oxide, die sich an den Wicklungen einer Drahtspule bilden können, können mehrere unerwünschte Auswirkungen haben. Zum einen wird der Durchmesser des Drahtes ungleichmäßig und auf unkontrollierbare Weise vergrößert mit Betriebsstörungen des Abspulsystems der Funkenerodiermaschine im Gefolge. Darüber hinaus wird die Bearbeitungsgenauigkeit beeinträchtigt, da die Drahtwindungen miteinander verkleben können, wodurch das Abspulen der Drahtelektrode von der Spule behindert wird, auf welche die Drahtelektrode gewickelt ist. Der an seiner

Oberfläche oxidierte Draht verursacht ferner Erosionsentladungen, welche die Zuführvorrichtungen des Stroms in den Bearbeitungsdraht beschädigen oder gar zerstören können.

[0021] Der Oxidationsschutz des Stahlkerns ist demnach wesentlich und erfordert die erfindungsgemäß definierte Dicke der Eisen-Zink-Legierungsschicht. Eine aus dem Stand der Technik vorgeschlagene lokal aufgerissene Kernbeschichtung hingegen würde den Kern nach außen freilegen, so dass es zu der oben beschriebenen Rostbildung kommen kann.

[0022] Um einen möglichst effektiven Einsatz der Drahtelektrode in einer Funkenerosionsmaschine zu ermöglichen, müssen die mechanischen Eigenschaften des Drahtes genau an die jeweiligen Anforderungen angepasst werden. Nicht für alle Anwendungen kann die gleiche Drahtelektrode eingesetzt werden. Vielmehr ist es notwendig die Eigenschaften der Drahtelektrode in Abhängigkeit der jeweiligen Anforderung gezielt auszuwählen. Dies gilt sowohl für die Dimensionierung der Drahtelektrode als auch für deren metallurgische Zusammensetzung, wobei diese Faktoren aufeinander abgestimmt sein sollten. Bei Drahtelektroden mit einem großen Gesamtdurchmesser ist es beispielsweise notwendig, die Steifheit der Drahtelektrode herabzusetzen. Bei Drahtelektroden mit kleinem Gesamtdurchmesser sollte hingegen die Bruchfestigkeit erhöht werden. In diesem Sinne lässt sich der Gesamtdurchmesser in zwei Kategorien unterteilen, wobei Drahtelektroden der ersten Kategorie einen Gesamtdurchmesser über und die Drahtelektroden der zweiten Kategorie einen Gesamtdurchmesser unter oder gleich 0,2 mm aufweisen.

[0023] Bei einer weiteren Variante der Erfindung ist der Gesamtdurchmesser ebenfalls kleiner als 0,20 mm, wobei der Anteil an Eisen in der Eisen-Zink-Legierungsschicht höchstens 50 Gew.-% beträgt. Dies gilt gegebenenfalls für alle Phasen der Eisen-Zink-Legierung in der Eisen-Zink-Legierungsschicht. Die Eisen-Zink-Legierungsschicht kann im Rahmen der Erfindung neben Eisen und Zink auch Verunreinigungen oder aber gezielt eingebrachte Zusatzmaterialien enthalten. Der Anteil dieser letztgenannten Metalle muss sorgfältig abgewogen werden, um bei der Bearbeitung die erwartete Wirkung frei zu setzen.

[0024] Vorteilhafterweise wird der Zinkgehalt in der Eisen-Zink-Legierungsschicht nach außen, also zu der von dem Stahlkern abgewandten Seite der Eisen-Zink-Legierungsschicht immer größer.

[0025] Besondere Vorteile bringt es mit sich, wenn der Zinkgehalt in der Eisen-Zink-Legierungsschicht größer oder gleich 60 Gew.-% ist.

[0026] Bei einem Gesamtdurchmesser kleiner als 0,20 mm ist es ferner vorteilhaft, wenn der Stahl des Stahlkerns zwischen 0,2 und 0,6 Gew.-% Kohlenstoff enthält.

[0027] Bei einer entsprechend dimensionierten Drahtelektrode ist es ferner zweckmäßig, dass der Stahlkern eine Bruchfestigkeit zwischen 1000 und 3000 N/mm² aufweist.

[0028] Ist der Gesamtdurchmesser grösser oder gleich 0,20 mm, enthält der Stahl des Stahlkerns vorteilhafterweise höchstens 0,2 Gew.-% an Kohlenstoff.

[0029] Vorteilhafterweise liegt die Zugfestigkeit einer Drahtelektrode mit einem Gesamtdurchmesser über oder gleich 0,20 mm zwischen 300 und 1100 N/mm².

[0030] Vorteilhafterweise ist der Stahlkern so ausgestaltet, dass er in einem plastischen Bereich unter Einwirkung einer Zugkraft plastisch verformbar und in seinem plastischen Bereich um wenigstens 10% verlängerbar ist. Wird der Draht einer steigenden Zugkraft ausgesetzt, gibt es einen Bereich von Zugkräften, in dem sich die Drahtelektrode elastisch verformt. Bei einer elastischen Verformung wird die Drahtelektrode verlängert, wobei sich Gesamtdurchmesser verkleinert. Wird die Zugkraft anschließend auf null zurück gefahren, nimmt die Drahtelektrode wieder ihre ursprüngliche Gestalt an und weist wieder den ursprünglichen Gesamtdurchmesser auf. Übersteigt die Zugkraft jedoch die maximale elastische Verformung, kommt es zu einer plastischen Verformung der Drahtelektrode. Diese Verformung ist irreversibel. Wird die Zugkraft auf null zurückgefahren, bleibt die Drahtelektrode daher verformt. Dies gilt selbstverständlich auch wenn die Drahtelektrode zerreißt. Der plastische Bereich ist also der Bereich von Zugkräften, der von dem besagten Schwellenwert bis zu der Zugkraft reicht, bei der die Drahtelektrode reißt. Kann die Drahtelektrode in ihrem plastischen Zustand um bis zu 10% verlängert werden, ist der Gesamtdurchmesser der Drahtelektrode nach dem Zerreißen an ihrem freien Ende so klein, dass die Drahtelektrode einfach Einfädelt werden kann. Die automatische Einfädelfähigkeit ist bei vielen handelsüblichen Erodiermaschinen eine wichtige Anforderung, die an die einsetzbaren Drahtelektroden gestellt wird. Die so weitergebildete erfindungsgemäße Drahtelektrode kann daher in üblichen Abspul-, automatischen Einfädel-, Führungs- und Zerhacken-Vorrichtungen problemlos eingesetzt werden. Es gibt eine Vielzahl von Möglichkeiten, wie man die zehnpromtente Dehnbarkeit der Drahtelektrode in ihrem plastischen Bereich herbeiführen kann. Die kann beispielsweise durch zweckmäßiges Erwärmen der Drahtelektrode erfolgen, oder aber durch eine geeignete metallurgische Zusammensetzung des Stahlkerns und des Mantels.

[0031] Wie bereits oben ausgeführt wurde weist der Stahl eine den Ansprüchen oftmals nicht genügende elektrische Leitfähigkeit auf. Erfindungsgemäß wird der billige Stahl des Stahlkerns nicht allzu stark mit Strom belastet, da sich der Hauptstrompfad in dem Mantel der Drahtelektrode, einem viel besseren elektrischen Leiter, erstreckt. Übliche Frequenzen von Erosionsentladungen liegen im Bereich von 50 kHz. Dies führt dank dem so genannten Skin-Effekt zu einer Erhöhung der Stromdichte am äußeren Rand der Drahtelektrode, wodurch die Übernahme des Stroms durch den Mantel noch unterstützt wird. Der im Kern fließende Strom wird in der Nähe der Grenzfläche zum Mantel und somit in die Eisen-Zink-Legierungsschicht hinein verschoben. Der Stahl des Stahlkerns ist daher vorteilhafterweise so beschaffen, dass dieser Effekt begünstigt und der Strom somit nahezu vollständig über den Mantel geführt wird. Der Stahlkern wird daher bevorzugt aus einem Stahl hergestellt, der eine magnetische Permeabilität μ , zwischen 5000 und 10000 aufweist. Ein solcher im Rahmen der Erfindung bevorzugter Stahl des Stahlkerns enthält höchstens 6 Gew.-% an Silizium.

[0032] Solche Stähle werden auch zur Herstellung von Transformatorblechen eingesetzt. Vorteilhafterweise weist der Stahlkern einen spezifischen elektrischen Widerstand unter $15 \mu\Omega\text{cm}$ auf.

[0033] Vorteilhafterweise weist der Mantel eine äußere Schicht aus reinem Zink auf, von der die Eisen-Zink-Legierungsschicht umgeben ist. Zink weist für die Feinbearbeitung interessante Eigenschaften auf und sorgt für einen verbesserten elektrischen Kontakt. Ferner ist die Anwesenheit von Zink aus metrologischen Gründen sehr wichtig.

[0034] Andere Metalle wie Magnesium oder Aluminium können ebenfalls interessante Eigenschaften für die Funkenerosion bereitstellen. Die Anwesenheit dieser Materialien in der Eisen-Zink-Legierungsschicht kann beispielsweise die Bearbeitung eines Werkstückes beschleunigen. Vorteilhafterweise enthält die Eisen-Zink-Legierungsschicht daher Aluminium und/oder Magnesium, wobei der Anteil des Aluminiums kleiner als 8 Gew.-% und der Anteil des Magnesiums kleiner als 5 Gew.-% ist. Die auf diese Weise gebildete Eisen-Zink-Legierungsschicht enthält zweckmäßigerweise in der Nähe des Stahlkerns eine Komponente aus diffundiertem Eisen. Das Eisen ist beispielsweise bei der Diffusion durch Wärmebehandlung aus dem Stahlkern in den Mantel diffundiert. Diese Legierungsarten ermöglichen, die Herstellungskosten noch weiter zu senken.

[0035] Bei einem Verfahren zum Herstellen einer Drahtelektrode für die Funkenerosion, die einen Gesamtdurchmesser zwischen 0,05 und 0,4 mm aufweist, wird beispielsweise eine aus Eisen und Zink bestehende kontinuierliche Eisen-Zink-Legierungs-

schicht auf einen aus Stahl bestehenden Stahlkern aufgebracht, dessen Durchmesser dem Gesamtdurchmesser der Drahtelektrode abzüglich der gewünschten Dicke d der Legierungsschicht entspricht.

[0036] Vorteilhafterweise wird die Drahtelektrode nach dem Aufbringen der Eisen-Zink-Legierungsschicht auf ihren Enddurchmesser gezogen, wobei der Gesamtdurchmesser möglichst wenig beispielsweise um höchstens 0,01 mm verkleinert wird, um das Aufreißen der Legierungsschicht zu vermeiden.

[0037] Die oben erwähnten Vorteile können nur erhalten werden, wenn der Durchmesser des bei der Herstellung zu Beginn eingesetzten Stahlkerns nahe an dem Enddurchmesser der fertigen Drahtelektrode liegt. Die hierbei einzuhaltenden Toleranzen liegen beispielsweise im Bereich von +0.002 mm bis -0.004 mm. Der Ziehvorgang, der beispielsweise auf die Ablagerung der Eisen-Zink-Legierungsschicht auf den Stahlkern folgt, soll das Kalibrieren sichern und darf den Gesamtdurchmesser nicht unter einen vorgegebenen Schwellenwert herabsetzen, da ansonsten die Eisen-Zink-Legierungsschicht aufgebrochen und der Stahlkern freigelegt würde. Dies würde sich nicht nur nachteilig auf die Leitfähigkeit der Drahtelektrode auswirken, sondern darüber hinaus auch zu einer unerwünschten Oxidation des Eisens des freigelegten Stahlkerns führen. Vorteilhafterweise wird daher beim Ziehen des beschichteten Stahlkerns, der Gesamtdurchmesser der Drahtelektrode zweckmäßig reduziert. Auf diese Weise kann die Kontinuität der den Strom leitenden Schicht bewahrt werden, so dass sich der elektrische Widerstand der Drahtelektrode nicht erhöht.

[0038] Beispielsweise wird bei dem Herstellungsverfahren zunächst eine Zinkschicht auf den Stahlkern aufgebracht. Anschließend kann der so beschichtete Draht gegläht werden, wobei Eisenteilchen in die Zinkschicht hinein diffundieren, so dass sich die gewünschte Eisen-Zink-Legierungsschicht ausbildet. Anschließend kann die Drahtelektrode unter Einhaltung der oben genannten Vorsichtsmaßnahmen noch auf den Enddurchmesser also den Gesamtdurchmesser der fertigen Drahtelektrode gezogen werden.

[0039] Die Struktur der aufgetragenen Zinkschicht und somit die Struktur der späteren Eisen-Zink-Legierungsschicht ist von dem gewählten Ablagerungsschritt abhängig. Wird das Zink auf elektrolytischem Wege auf den Stahlkern aufgebracht, kommt es zu einer Ablagerung in fester Form. Eine thermische Diffusion ist dann zwingend erforderlich, um das Eisen aus dem Kern in den Mantel zu treiben und so die Eisen-Zink-Legierung herbei zu führen. Hierzu wird der Draht erhitzt, wobei sich eine Legierung aus mehreren konzentrischen Phasen bildet. Die zinkreichen Phasen sind duktiler als die zinkarmen Phasen der Eisen-Zink-Legierungsschicht. Sie befinden sich

an dem vom Stahlkern abgewandten Außenrand der Eisen-Zink-Legierungsschicht. Die andere brüchigere Eisen-Zink-Legierungsphase ist hingegen am Innenrand ausgebildet, der an den Stahlkern angrenzt. Diese für einen Funkenerosionsdraht sehr günstige Struktur erlaubt es daher, die brüchigere Phase mit einer duktilen Phase zu umhüllen, so dass die Drahtelektrode innerhalb enger Grenzen gezogen werden kann, ohne dass die Eisen-Zink-Legierungsschicht aufbricht. Ferner wird in der Peripherie eine vorteilhafte zinkreiche Schicht erzeugt. Zudem ist eine ebenfalls vorteilhafte polyvalente Drahtelektrode bereitgestellt.

[0040] Bei dem im Rahmen der Erfindung ebenfalls möglichen so genannten Eintauchverfahren (Dipping) als Ablagerungsschritt erfolgt die Ablagerung der Außenschicht in flüssiger Form. Das Aufbringen der jeweiligen Schicht des Mantels erfolgt durch Eintauchen des Stahldrahts in flüssiges Zink oder in eine flüssige Eisen-Zink-Mischung. Die Bildung der Phasen ist hier komplizierter und hängt von der Art und Temperatur des Bades ab. Ein einziger Eintauchschritt kann somit an die Stelle einer elektrolytischen Ablagerung und der darauf folgenden thermischen Diffusion treten.

[0041] Ein Galvanisierungsbad (Dipping) erlaubt auch, eine präzise metallurgische Phase direkt auszubilden und/oder andere Metalle wie Aluminium, Magnesium oder Nickel in die Eisen-Zink-Legierungsschicht einzufügen. Aluminium und Magnesium können nicht elektrolytisch aufgebracht werden.

[0042] Weitere zweckmäßige Ausgestaltungen und Vorteile der Erfindung sind Gegenstand der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung unter Bezug auf die Figuren der Zeichnung, wobei gleiche Bezugszeichen auf gleich wirkende Bauteile verweisen und wobei

[0043] Fig. 1–Fig. 3 verschiedene Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Drahtelektrode in einer schematischen Querschnittsansicht verdeutlichen,

[0044] Fig. 4 eine stark vergrößerte schematische Ansicht einer Eisen-Zink-Legierungsschicht mit dichten Schichtelementen zeigt, die als Lamellen ausgestaltet sind,

[0045] Fig. 5 eine stark vergrößerte schematische Ansicht einer Eisen-Zink-Legierungsschicht mit dichten Schichtelementen zeigt, die als nebeneinander liegende Klumpen ausgestaltet sind, und

[0046] Fig. 6–Fig. 9 die Bruchspannung und die elektrische Verlustleistung von Drahtelektroden mit einem Gesamtdurchmesser 0,1 mm, 0,2 mm, 0,25 mm beziehungsweise 0,3 mm in Abhängigkeit der

Schichtdicke der jeweiligen Eisen-Zink-Legierungsschicht zeigen.

[0047] Fig. 1 zeigt ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Drahtelektrode **1** in einer schematischen Querschnittsansicht. Die Drahtelektrode **1** ist im Querschnitt im Wesentlichen kreisförmig ausgebildet, wobei sie sich mit einem mehr oder weniger gleichbleibenden Gesamtdurchmesser D in einer Längsrichtung erstreckt. Der Gesamtdurchmesser D der Drahtelektrode ist in Fig. 1 verdeutlicht. Die Drahtelektrode **1** verfügt über einen mittigen Stahlkern **2**, der aus einem zweckmäßigen Stahl besteht. Der Stahlkern **2** ist von einem Mantel **3** umschlossen, der in dem gezeigten Ausführungsbeispiel ausschließlich aus einer Eisen-Zink-Legierungsschicht **4** besteht.

[0048] Die in Fig. 1 gezeigte Drahtelektrode **1** weist einen Gesamtdurchmesser D von 0,1 mm auf. Die Dicke d der Eisen-Zink-Legierungsschicht **4** beträgt 12 μm . Der Eisenanteil der Eisen-Zink-Legierungsschicht **4** liegt zwischen 25% und 29 Gew.-%. Der Kohlenstoffanteil des Stahlkerns **2** liegt bei 0,5 Gew.-%

[0049] Fig. 2 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Drahtelektrode **1**, wobei der Mantel **3** jedoch neben einer Eisen-Zink-Legierungsschicht **4** eine Zinkschicht **5** umfasst, die die Eisen-Zink-Legierungsschicht **4** außen umschließt. Auf diese Weise wird eine äußere zinkreiche Schicht bereitgestellt, die für die Endbearbeitung vorteilhaft ist. Darüber hinaus ist ein polyvalenter Draht geschaffen.

[0050] Fig. 3 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Drahtelektrode **1** in einer vergrößerten Querschnittsansicht, in der lediglich ein Teil der Drahtelektrode **1** erkennbar ist. Die Drahtelektrode **1** verfügt wieder über einen Stahlkern **2**, der von einem Mantel **3** aus einer Eisen-Zink-Legierungsschicht **4** umgeben ist. Es ist erkennbar, dass die Eisen-Zink-Legierungsschicht **4** mehrere konzentrisch angeordnete ringförmige Phasenschichten **5**, **6** und **7** aufweist, wobei es sich bei der Phasenschicht **5** um eine γ -Phase, bei der Phasenschicht **6** um eine δ -Phase und bei der Phasenschicht **7** um eine ξ -Phase handelt. Der Zinkanteil der Eisen-Zink-Legierungsschicht **4** nimmt somit von der Phasenschicht **5** zur Phasenschicht **7** hin fortschreitend zu. Die Phasenschichten **6** und **7** sind daher duktiler als die weiter innen liegende sprödere Phasenschicht **5**. Diese Anordnung setzt die Gefahr, dass die Eisen-Zink-Legierungsschicht **4** aufbricht, deutlich herab.

[0051] Die Fig. 4 und Fig. 5 zeigen jeweils ein weiteres Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Drahtelektrode **1**, die wieder in einer Teilquerschnittsansicht dargestellt ist. Insbesondere ist der Aufbau der Eisen-Zink-Legierungsschicht **4** erkennbar, die

sowohl bei der Drahtelektrode **1** gemäß **Fig. 4** und als auch bei der Drahtelektrode **1** gemäß **Fig. 5** aus einer dichten Packung von Schichtelementen **8** besteht, die zueinander unterschiedliche Legierungsphasen ausbilden. Die Schichtelemente **8** kontaktieren einander, so dass ein kontinuierlich leitender Strompfad in der Eisen-Zink-Legierungsschicht **4** ausgebildet ist. Der Zinkanteil der Schichtelemente **8** kann von Schichtelement **8** zu Schichtelement **8** variieren und liegt in dem in **Fig. 4** gezeigten Ausführungsbeispiel zwischen 65 und 75 Gew.-%, wobei er nach außen also zu der vom Stahlkern **2** abgewandten Seite des Mantels **3** hin ansteigt. Aus metallurgischen Gründen steigt der Zinkanteil nicht fortschreitend oder mit anderen Worten linear nach außen hin an. Vielmehr variiert der Zinkanteil hier auch sprunghaft und ist in der Phase umso höher, je weiter entfernt die besagte Phase vom Kern angeordnet ist.

[0052] Bei der Drahtelektrode **1** gemäß **Fig. 4** sind die Schichtelemente **8** als miteinander verschränkt angeordnete Lamellen ausgestaltet. In **Fig. 5** sind hingegen Schichtelemente **8** gezeigt, die als nebeneinander liegende Klumpen oder Blöcke ausgestaltet sind. In jedem der in den **Fig. 4** und **Fig. 5** gezeigten Ausführungsbeispiel sind die Schichtelemente **8** so dicht gepackt, dass die Eisen-Zink-Legierungsschicht **4** eine gasdichte Barriere um den Stahlkern **2** ausbildet, dessen Eisenbestandteile somit vor dem aggressiven Luftsauerstoff geschützt sind.

[0053] Der Gesamtdurchmesser D von Drahtelektroden **1**, die in der Praxis bei der Funkenerosion eingesetzt werden, variiert zwischen 0,05 mm und 0,4 mm. Bei der Herstellung der entsprechend dimensionierbaren erfindungsgemäßen Drahtelektrode muss für die jeweilige Anwendung der zweckmäßigste Kompromiss zwischen fünf Eigenschaften gefunden werden, die teilweise gegenläufig zueinander in dem Sinne sind, dass die Verbesserung der einen Eigenschaft zu einer Verschlechterung einer andern Eigenschaft führt. Diese Eigenschaften sind:

- die Leitfähigkeit der gesamten Drahtelektrode,
- ihre Bruchfestigkeit, um den mechanischen Belastungen standzuhalten,
- die Festigkeit der Eisen-Zink-Legierungsschicht gegenüber dem Verschleiß bei der Funkenerosion,
- der Vermögen der Eisen-Zink-Legierungsschicht den Stahlkern vor dem Rosten zu schützen,
- die zweckmäßige magnetische Permeabilität des Stahlkerns.

[0054] Stahl ist im Vergleich zu Kupfer oder Messing ein deutlich kostengünstigerer Werkstoff. Dies ist ein entscheidender Vorteil gegenüber den aus Messing bestehenden Drahtelektroden mit vergleichbaren Eigenschaften.

[0055] Das zur Herstellung der erfindungsgemäßen Drahtelektrode eingesetzte erfindungsgemäße Verfahren ist von der Duktilität des Stahlkerns und dem auf diesen aufgetragten Mantels abhängig. Wenn aber die Duktilität des beschichteten Stahlkerns nicht ausreichend ist, sollte entweder auf einen sich anschließenden Ziehprozess verzichtet oder dieser auf ein geringes Maß begrenzt werden. Eine gewisse plastische Verformung der erfindungsgemäßen Drahtelektrode ist im Bereich der Funkenerosion im Hinblick auf die dort herrschenden Anforderungen beispielsweise beim automatischen Einfädeln unentbehrlich. So sind einige Maschinen, in denen die erfindungsgemäße Drahtelektrode zum Einsatz gelangen soll, mit einer Ausglühvorrichtung ausgestattet, die das Einfädeln der Drahtelektrode vereinfacht. Bei einem kohlenstoffarmen Stahl wird eine ausreichende plastische Verformung der Drahtelektrode durch eine Temperaturerhöhung erreicht.

[0056] Die Plastizität ist für das Einfädeln nützlich: Bei der Vorbereitung der Drahtelektrode erlaubt sie eine Einschnürung des Drahtes, so dass dieser scharf wird und durch die Führungen der oberen und unteren Köpfe der Funkenerosionsmaschine eingefädelt werden kann.

[0057] Die Erhöhung der Kohlenstoffkonzentration im Stahl des Stahlkerns erhöht dessen Elastizitätsmodul, das auf diese Weise zwischen 8000 kg/mm² und 16000 kg/mm² variiert werden kann. Bei einem Draht mit einem Gesamtdurchmesser von 0,25 mm kann der beispielsweise 50 mm große Mindestbiegeradius durch die Erhöhung der Kohlenstoffkonzentration verdoppelt werden. Aus dem Stand der Technik bekannte Drahtelektroden mit einem Stahlkern, einem Gesamtdurchmesser über 0,25 mm und einer Bruchfestigkeit von über 2000 N/mm² sind wohl aus diesen Gründen für die Funkenerosionsmaschinen ungeeignet. Diese steifen Drähte können in den derzeit eingesetzten Maschinen nur schwer geführt werden und diese sogar beschädigen. Die meisten in der Praxis eingesetzten Maschinen sind darüber hinaus in der Regel mit einem Hacker ausgestattet, der hinter der Bearbeitungszone angeordnet ist. Die maximale Scherkraft dieser Hacker ist beschränkt. Drahtelektroden mit einem Gesamtdurchmesser über und einer Kohlenstoffkonzentration über 0,2 Gew.-% werden nur unzureichend oder gar nicht gehackt, wobei eine Beschädigung der Hackvorrichtung nicht ausgeschlossen werden kann. Die vorbekannten Drahtelektroden mit einem 0,25 mm großen Durchmesser und einer Bruchfestigkeit von über 1300 N/mm² sind in der Regel für die Hack- und Transportvorrichtungen der meisten Funkenerosionsmaschinen ungeeignet.

[0058] Um eine ausreichende Bruchfestigkeit bei einem vorgegebenen Drahtdurchmesser zu erreichen, kann die Dicke des Mantels beschränkt werden, ins-

weit dieser eine gegenüber dem Kern herabgesetzte mechanische Festigkeit aufweist. Wie bereits ausgeführt wurde, ist der Kern hauptsächlich für die mechanische Festigkeit der Drahtelektrode verantwortlich. Sein Durchmesser muss daher so groß sein, dass eine ausreichende mechanische Festigkeit gewährleistet ist. Der Mantel muss hingegen – da der Stahlkern ein schlechter Stromleiter ist – eine Mindestdicke aufweisen, um auch während der Bearbeitung von Werkstücken und dem damit einhergehenden Verschleiß des Mantels die globale Leitfähigkeit bereitzustellen.

[0059] Bei der Auswahl des Stahls des Stahlkerns sind auch die magnetischen Eigenschaften des jeweiligen Stahls zu berücksichtigen. Der über den Stahlkern fließende Strom kann ein für den Schneidprozess nachteiliges Magnetfeld erzeugen, das zu einer Krümmung der Drahtelektrode in der Bearbeitungszone führt, wodurch sich die Schnittgenauigkeit verschlechtert. Zur Vermeidung dieser Nachteile weist der Stahl der erfindungsgemäßen Drahtelektrode eine möglichst geringe Remanenz auf. Stähle mit einer geringen Remanenz sind zunächst kohlenstoffarme Stähle, die jedoch gleichzeitig die erforderliche mechanische Festigkeit aufweisen. Dies lässt sich durch Einstellen des Siliziumgehalts im Stahlkern erreichen. Im Rahmen der Erfindung wurde erkannt, dass Stähle, die zur Herstellung von Transformatorblechen eingesetzt werden, sich auch hervorragend zur Herstellung des Stahlkerns eignen.

[0060] Die Fig. 6 bis Fig. 9 ermöglichen im Rahmen der Erfindung, eine einfache Festlegung der mechanischen Festigkeit des Stahlkerns und der gesamten elektrischen Leitfähigkeit der Drahtelektrode bei vorgegebenem Gesamtdurchmesser. In den Figuren sind Drahtelektroden mit einem Gesamtdurchmesser von 0,1 mm, 0,2 mm, 0,25 mm beziehungsweise 0,3 mm dargestellt.

[0061] Auf der jeweiligen Abszisse ist die Dicke der Eisen-Zink-Legierungsschicht in Mikrometern abgetragen. Die Ordinate stellt sowohl die elektrische Verlustleistung in Watt/cm als auch Bruchspannung des Drahtes in N dar, wobei für beide Größen die gleiche Zahlenskala gilt.

[0062] Die verschiedenen elektrischen Leistungen wurden mit einem Effektivstrom erzielt, der 10 A für einen Drahtdurchmesser von 0,1 mm, 35 A für einen Drahtdurchmesser von 0,2 mm, 60 A für einen Drahtdurchmesser von 0,25 mm und 90 A für einen Drahtdurchmesser von 0,3 mm entsprach. Erzeugt wurde dieser Effektivstrom durch eine Folge elektrischer Sägezahnimpulse, wobei die Neigung der Kennlinie über 300 A/μs lag. Der spezifische elektrische Widerstand der Mantelschicht lag bei 6 μΩ·cm und des Kerns bei 10 μΩ·cm.

[0063] Die in den Fig. 6 bis Fig. 9 jeweils mit 1 gekennzeichnete Kurve stellt die elektrische Verlustleistung im Stahlkern dar. Die jeweilige Kurve 2 stellt die elektrische Verlustleistung in der Mantelschicht dar, die Kurve 3 die gesamte elektrische Verlustleistung und die Kurve 4 die Bruchspannung des Stahlkerns. Die jeweilige Kurve 5 stellt die Bruchspannung der bedeckten Drahtelektrode dar, wenn die Eisen-Zink-Legierungsschicht zu 50% verschliffen ist (dies entspricht dem üblichen Verschleiß des Drahtes beim Funkenerodieren). Die waagerechte Linie 6 stellt die maximale mechanische Bruchspannung dar, der die Drahtelektrode mit dem angegebenen Gesamtdurchmesser in den üblichen Maschinen ausgesetzt wird.

[0064] Wie erwartet, steigt bei allen Diagrammen mit zunehmender Dicke der Eisen-Zink-Legierungsschicht die elektrische Verlustleistung in der Eisen-Zink-Legierungsschicht, wobei die gesamte mechanische Festigkeit der Drahtelektrode herabgesetzt wird.

[0065] Wird für Eisen-Zink-Legierungsschicht eine Dicke eingestellt, die einem rechts vom jeweiligen Punkt A (Schnittpunkt der Kurven 2 und 1) liegenden Wert entspricht, ist die elektrische Verlustleistung in der Eisen-Zink-Legierungsschicht zwar erhöht und kommt in etwa derjenigen des Stahlkerns nahe. Durch die Vergrößerung der Schichtdicke wird jedoch die mechanische Festigkeit verringert. Es ist ratsam, die mechanische Festigkeit nicht über einen Schwellenwert hinaus herabzusetzen, ab dem die Drahtelektrode beim Funkenerodierprozess reißen kann. Dieser Schwellenwert wird im Punkt B erreicht, in dem die maximale Bruchspannung (Kurve 5) unter die maximale Zugspannung (Kurve 6) der Erodiermaschine absinkt. Die optimale Schichtdicke ist daher ein Wert rechts vom Punkt A und links vom Punkt B.

[0066] Die Kurvenanalyse zeigt, dass die Eisen-Zink-Legierungsschicht 4 zwischen 5% und 25% des gesamten Drahtdurchmessers liegen muss. Das erlaubt, eine breite Drahtpalette je nach gewählter Manteldicke zu produzieren, wobei gewisse Drahtelektroden (mit dünner Mantelschicht) für die Schlichtbearbeitung besser geeignet sind, und andere (mit einer dickeren Mantelschicht) für eine hohe Bearbeitungsgeschwindigkeit oder bei schlechten Spülungskonditionen leistungsfähiger sind.

[0067] Die durchgeführten Untersuchungen führten zu der Feststellung, dass ein einfacher Eisendraht ohne Mantel eine nur sehr geringe Bearbeitungsgeschwindigkeit ermöglicht, da sich beim Schneiden Wiederablagerung, die vom geschnittenen Werkstück stammen, bilden und zu hohen Bruchrisiken führen. Dieses Verhalten entspricht dem einer reinen Kupferschicht. Ein aus reinem Zink bestehender Mantel würde die Schnittgeschwindigkeit auch nicht auf ein zufriedenstellendes Maß erhöhen. Der

Grund dafür liegt im starken Verschleiß des reinen Zinks angesichts seines niedrigen Schmelzpunkts. Auch eine sehr dicke, beispielsweise 25 Mikrometer dicke Mantelschicht aus reinem Zink steigert die Geschwindigkeit des Schneidvorganges nicht. Erst mit einer Eisen-Zink-Legierungsschicht ist es möglich, die Schnittgeschwindigkeit einer Drahtelektrode so zu erhöhen, dass sie derjenigen einer Drahtelektrode mit einem Mantel aus Kupfer-Zink entspricht. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass Verschleiß einer Eisen-Zink-Legierungsschicht geringer ist als derjenige eines nicht beschichteten Stahldrahtes oder eines Stahldrahtes mit einer reinen Zinkschicht. Eine zu dünne Eisen-Zink-Legierungsschicht kann hingegen keine ausreichende Wirkung entfalten. Eine solche Drahtelektrode weist in etwa die Eigenschaften eines reinen Stahldrahtes auf. Wird die Dicke der Eisen-Zink-Legierungsschicht jedoch deutlich und somit über das vorbekannte Maß erhöht, wurde überraschend festgestellt, dass die Wiederablagerungen stark reduziert werden können. Die Eisen-Zink-Legierungsschicht unterscheidet sich dabei völlig von der Zink-Kupfer-Legierungsschicht. Sie erlaubt, den Materialabtrag zu erhöhen und die Anzahl der Schlichtgänge zu reduzieren, da es nach dem Durchlauf des Drahtes keine Wiederablagerungen gibt.

[0068] Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Dicke der Eisen-Zink-Legierungsschicht deutlich grösser sein muss, als dies bei vorbekannten Drahtelektroden der Fall war.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 19635775 A1 [0003]
- US 2004089636 [0004]
- EP 0794026 [0005]
- FR 2936727 [0006]

Patentansprüche

1. Drahtelektrode (1) für die Funkenerosion mit einem Gesamtdurchmesser (D) zwischen 0,05 und 0,4 mm, einem inneren aus Stahl bestehenden Stahlkern (2) und einem den Stahlkern (2) umgebenden äußeren Mantel (3), **dadurch gekennzeichnet**, dass der Mantel (3) eine Eisen-Zink-Legierungsschicht (4) aufweist und die Dicke (d) der Eisen-Zink-Legierungsschicht an ihrer dünnsten Stelle größer als 5% des Gesamtdurchmessers (D) und an ihrer dicksten Stelle kleiner als 25% des Gesamtdurchmessers (D) ist.

2. Drahtelektrode nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Eisen-Zink-Legierungsschicht (4) einen durchgängig leitenden Strompfad im Mantel (3) ausbildet.

3. Drahtelektrode (1) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Eisen-Zink-Legierungsschicht (4) als eine dichte Packung von Schichtelementen (8) ausgestaltet ist, wobei die Schichtelemente (8) einander kontaktieren.

4. Drahtelektrode (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Eisenanteil der Eisen-Zink-Legierungsschicht (4) kleiner oder gleich 50 Gew.-% ist.

5. Drahtelektrode (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Zinkanteil der Eisen-Zink-Legierungsschicht (4) größer oder gleich 60 Gew.-% ist.

6. Drahtelektrode (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Zinkanteil in der Eisen-Zink-Legierungsschicht (4) zu ihrem äußeren Rand hin ansteigt.

7. Drahtelektrode (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Gesamtdurchmesser (D) kleiner als oder gleich 0,2 mm ist und der Stahl des Stahlkerns (2) zwischen 0,2 und 0,6 Gew.-% an Kohlenstoff enthält.

8. Drahtelektrode (1) nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Stahlkern (2) eine Bruchfestigkeit zwischen 1000 und 3000 N/mm² aufweist.

9. Drahtelektrode (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Gesamtdurchmesser (D) grösser als 0,20 mm ist und der Stahl des Stahlkerns (2) nicht mehr als 0,2 Gew.-% an Kohlenstoff enthält.

10. Drahtelektrode (1) nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Stahlkern (2) eine Bruchfestigkeit zwischen 300 und 1100 N/mm² aufweist.

11. Drahtelektrode (1) nach Anspruch 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Stahlkern (2) so ausgestaltet ist, dass er in einem plastischen Bereich unter Einwirkung einer Zugkraft plastisch verformbar und in seinem plastischen Bereich um wenigstens 10% verlängerbar ist.

12. Drahtelektrode (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Stahlkern (2) eine relative magnetische Permeabilität μ_r zwischen 5.000 und 10.000 aufweist.

13. Drahtelektrode (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Stahlkern (2) Silizium mit einem Anteil von nicht mehr als 6 Gew.-% enthält.

14. Drahtelektrode (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Stahlkern (2) einen spezifischen elektrischen Widerstand von weniger als 15 $\mu\Omega\text{cm}$ aufweist.

15. Drahtelektrode (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Mantel (3) eine aus Zink bestehende äußere Zinkschicht (5) aufweist, welche die Eisen-Zinklegierung (4) außen umschließt.

16. Drahtelektrode (1) nach den vorhergehenden Ansprüchen, **dadurch gekennzeichnet**, die Eisen-Zink-Legierungsschicht (4) Aluminium und/oder Magnesium enthält, wobei der Anteil des Aluminiums kleiner als 8 Gew.-% und der Anteil des Magnesiums kleiner als 5 Gew.-% ist.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

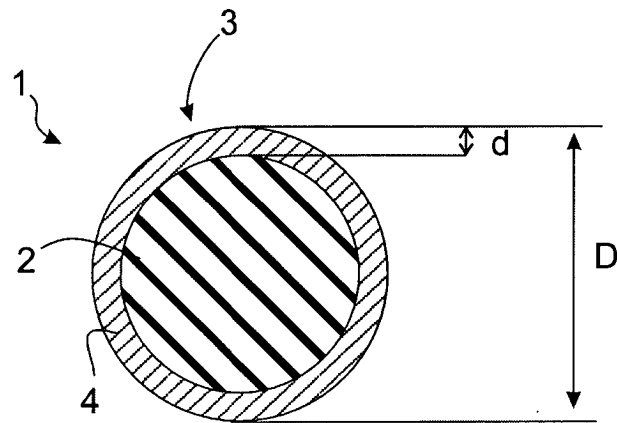


FIG 1

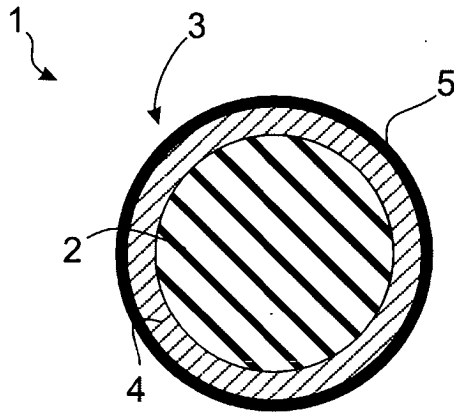


FIG 2

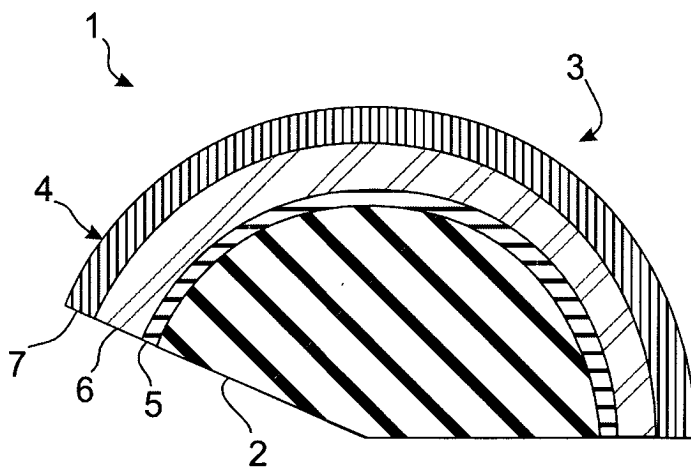


FIG 3

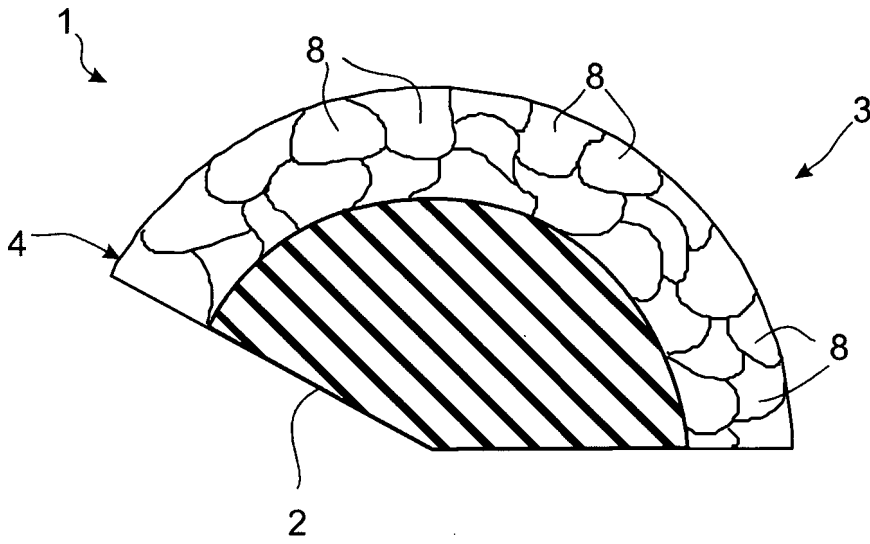


FIG 4

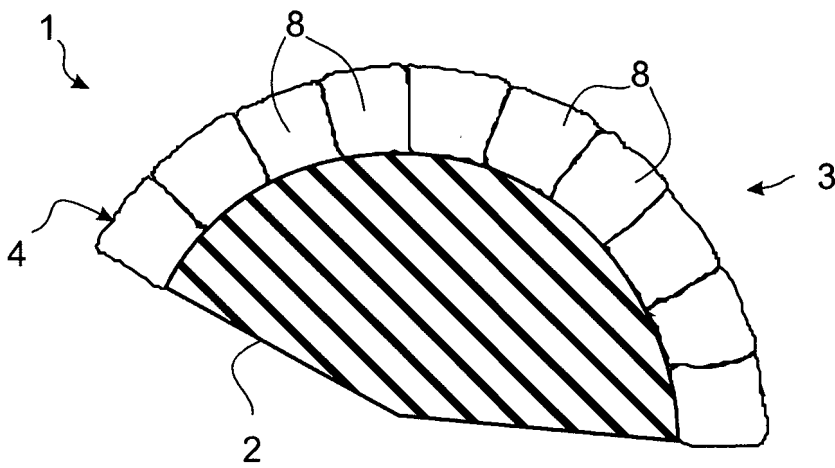


FIG 5

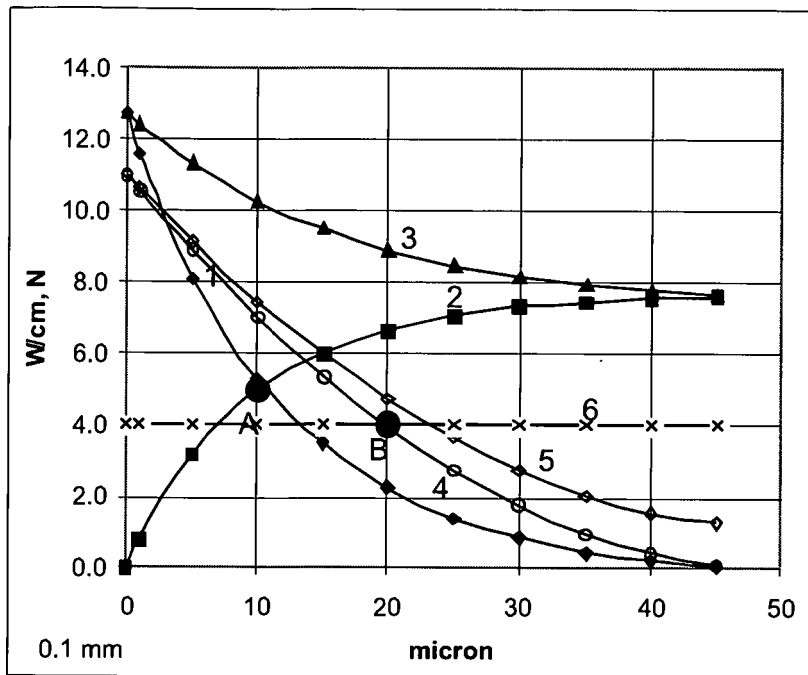


FIG 6

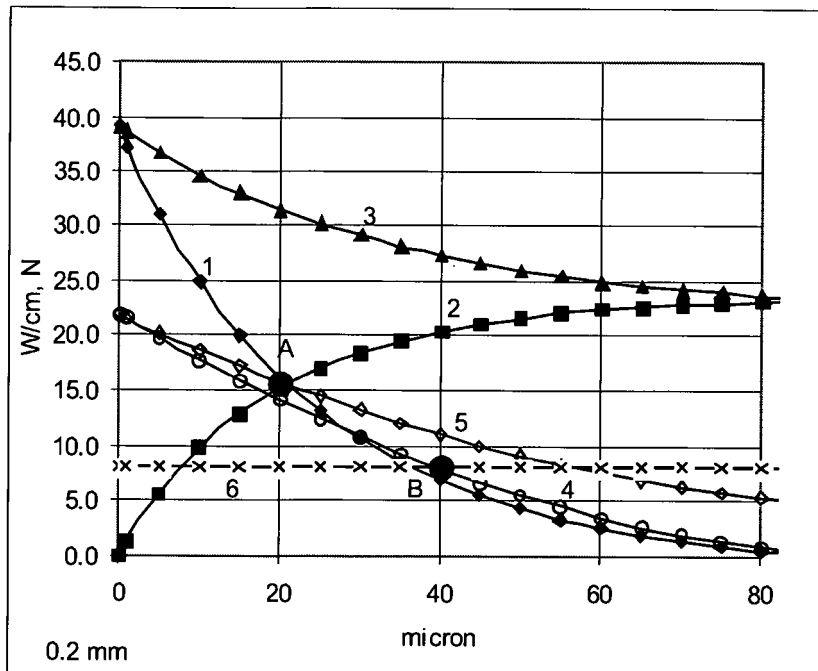


FIG 7

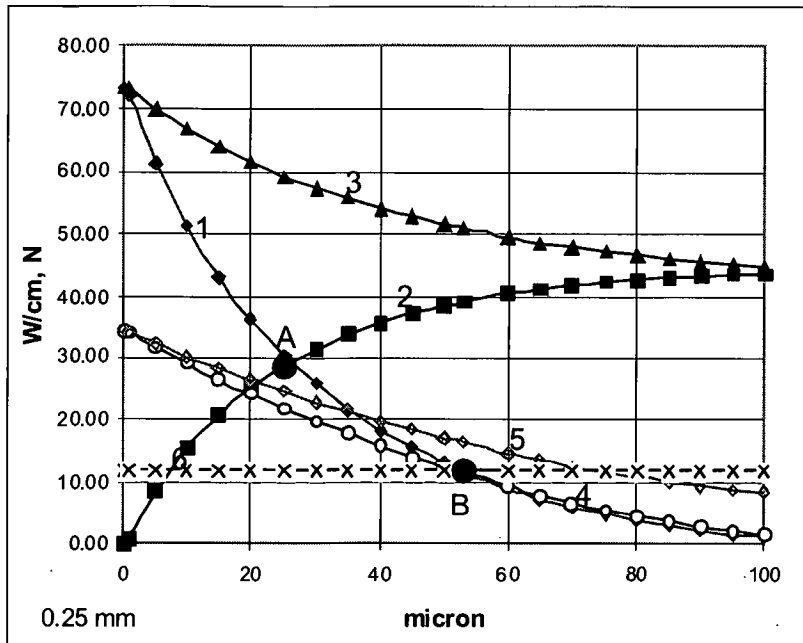


FIG 8

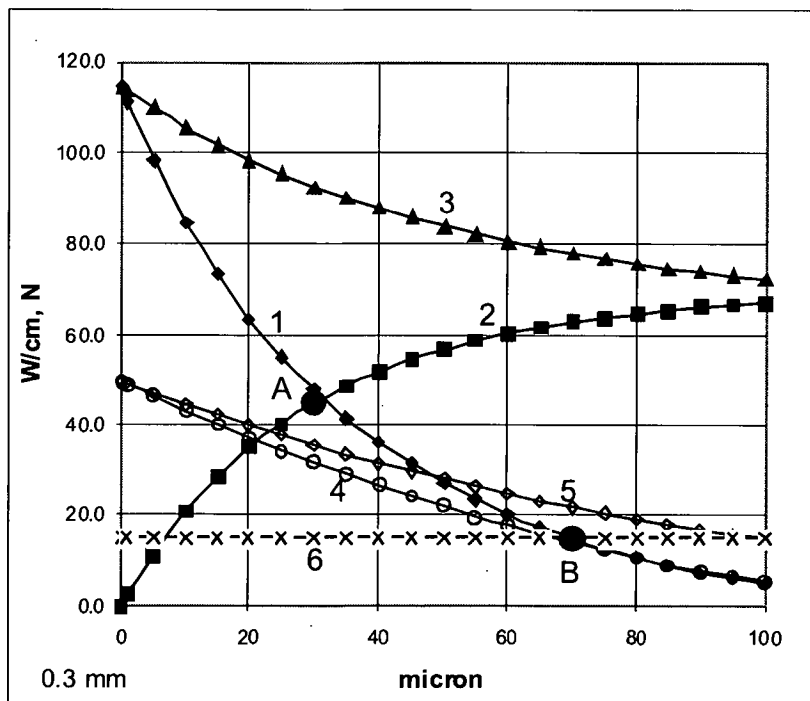


FIG 9