



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 662 765 A5

⑤① Int. Cl.4: B 23 H 1/06

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ **PATENT SCHRIFT** A5

⑳ Gesuchsnummer: 6713/83

㉔ Anmeldungsdatum: 15.12.1983

㉔ Priorität(en): 24.12.1982 SU 3550871

㉔ Patent erteilt: 30.10.1987

④⑤ Patentschrift
veröffentlicht: 30.10.1987

㉔ Inhaber:
Experimentalny Nauchno- Issledovatel'skiy
Institut Metallovezhushchikh Stankov, Moskau
(SU)

㉔ Erfinder:
Levit, Maxim Lvovich, Moskau (SU)
Voinov, Nikolai Vasilievich, Moskau (SU)
Arnoldi, Nikolai Mikahilovich, Moskau (SU)
Minakova, Rimma Valentinovna, Kiev (SU)

㉔ Vertreter:
Patentanwälte Schaad, Balass, Sandmeier, Alder,
Zürich

⑤④ **Werkzeugelektrode zur elektroerosiven Bearbeitung und Verfahren zu deren Herstellung.**

⑤⑦ Die Werkzeugelektrode ist aus einem Material auf Kupferbasis hergestellt, das eine offene Porigkeit von 10 bis 15 % und Porengrößen von 2 bis 10 µm aufweist.

Das Herstellungsverfahren für die genannte Werkzeugelektrode sieht einen Arbeitsgang der Pressung des Materials in einem Vakuum von $1,3$ bis $1,3 \cdot 10^{-2}$ Pa bei einer Temperatur von 650 bis 975 °C unter einem Druck von 50 bis 110 bar vor.

Die vorgeschlagene Erfindung ist zweckmässigerweise bei Maschinen zur elektroerosiven Senkbearbeitung von Hartlegierungen auf Basis von Wolfram- und Titankarbid anzuwenden.

PATENTANSPRÜCHE

1. Werkzeugelektrode zur elektroerosiven Bearbeitung, die aus einem Schaumstoff auf Kupferbasis hergestellt ist, dadurch gekennzeichnet, dass der Stoff eine offene Porigkeit von 10 bis 15% und Grössen der offenen Poren von 2 bis 10 µm aufweist.

2. Werkzeugelektrode nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Stoff ausser dem Kupfer fein verteilte Zugaben aus Metalloxiden in Verbindung mit Bor enthält.

3. Werkzeugelektrode nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Stoff als Metalloxid Cr_2O_3 (Chromoxid) enthält.

4. Werkzeugelektrode nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Stoff in Gew.-% enthält:

Chromoxid (Cr_2O_3)	2 bis 10
Bor (B)	0,1 bis 1
Kupfer (Cu)	den Rest.

5. Herstellungsverfahren für die Werkzeugelektrode nach Anspruch 1, das ein Warmpressen eines Schaumstoffes auf Kupferbasis vorsieht, dadurch gekennzeichnet, dass das Pressen in einem Vakuum von $1,3$ bis $1,3 \cdot 10^{-2}$ Pa bei einer Temperatur von 650 bis 975 °C unter einem Druck von 50 bis 110 bar erfolgt.

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Werkzeugelektrode zur elektroerosiven Bearbeitung und ein Herstellungsverfahren für diese Elektrode.

Die Erfindung kann am erfolgreichsten bei Maschinen für die elektroerosiven Senk-Bearbeitung von schwer bearbeitbaren Werkstoffen, beispielsweise von Hartlegierungen auf Basis von Wolfram- und Titankarbid angewendet werden.

Ausserdem kann die Erfindung zur elektroerosiven Bearbeitung von Stanzwerkzeugen, Pressformen, Giessformen und anderen Formstücken aus Stahl eingesetzt werden.

Bekanntlich wird die Materialabnahme bei einem Werkstück während der elektroerosiven Bearbeitung durch einen Plasmabogen des bei einer elektrischen Entladung verdampfenden Materials der Werkzeugelektrode stark beeinflusst. Den Forschungsergebnissen zufolge sind bis zu 70% der Materialabnahme bei einem Werkstück durch die Wirkung des Plasmabogens bedingt. Zu seiner Intensivierung wurde vorgeschlagen, die Werkzeugelektrode porös auszuführen. Dann wird der Plasmabogen durch die Wirkung von hydrodynamischen Hochtemperaturstrahlen einer aus den Poren verdampfenden Betriebsflüssigkeit verstärkt.

Es ist bekannt, dass zur Verschleissverringering bei der elektroerosiven Bearbeitung eine Ablagerung eines Filmes aus Pyrolyseprodukten der Betriebsflüssigkeit und des zu bearbeitenden Werkstoffes an der Stirnseite der Werkzeugelektrode von grosser Bedeutung ist. Bei Verwendung einer Werkzeugelektrode aus einem Schaumstoff setzt sich der Schutzfilm nicht nur auf deren Stirnseite, sondern auch auf der Oberfläche der Poren der Werkzeugelektrode ab. Hierbei nimmt die Fläche, auf der sich der Film absetzt, um 1 bis 2 Grössenordnungen zu. Dementsprechend nimmt auch die Energie für die Pyrolyse der in den Poren befindlichen Betriebsflüssigkeit und für die Ablagerung des Schutz-Flüssigkeitsfilmes zu. Damit der erste und der zweite Mechanismus arbeiten, ist ein Ansaugen der Betriebsflüssigkeit in die Poren aus dem Arbeitsspalt erforderlich, wobei die letzteren offen sein sollen.

Es ist eine Werkzeugelektrode zur elektroerosiven Bearbeitung bekannt, die 20 bis 50 Gew.-% Kupfer, 2,5 bis 5

Gew.-% Thoriumdioxid und für den Rest Wolfram enthält. Die genannte Werkzeugelektrode wird in zwei Stufen gefertigt. In der ersten Stufe wird durch Pressen einer Pressmasse aus Wolfram unter einem Druck von 1 bar eine porige

Werkzeugelektrode hergestellt. In der zweiten Stufe wird sie mit Kupfer bei einer Temperatur von 1150 °C in einem Wasserstoffstrom durchtränkt.

Die sich in der ersten Stufe ausbildende porige Struktur eines Wolfram-«Skelettes» wird in der zweiten Stufe bei der Durchtränkung mit Kupfer gefüllt, und die Poren schliessen sich. Das Herstellungsverfahren, das in zwei Stufen durchgeführt wird, ist an und für sich ziemlich langwierig. Die Kompliziertheit der Durchtränkung des porigen Wolfram-«Skelettes» mit Kupfer gestattet es nicht, Profilwerkzeugelektroden zu erhalten. Es ist möglich, Arbeitsstücke zu fertigen, die einer Nachbearbeitung bedürfen. Da sich das Wolfram sehr schwer bearbeiten lässt, ist diese Nacharbeit äusserst erschwert. Ausserdem wird als eine der Komponenten des Werkzeugelektrodenmaterials das kostspielige Wolfram eingesetzt, was die Rentabilität der elektroerosiven Bearbeitung herabsetzt.

Es ist auch eine Werkzeugelektrode zur elektroerosiven Bearbeitung bekannt, deren Grundmaterial Kupfer ist und die zur Leistungssteigerung und zur Verschleissverringering zusätzlich Legierungszuschläge, und zwar Chromdioxid und Bor, beinhaltet.

Nachteilig bei diesem Material ist, dass die Struktur des Materials kompakt ist und die Vorteile eines positiven Einflusses der Porigkeit auf die Mechanismen der Materialabnahme und der Abnutzung der Werkzeugelektrode bei der elektroerosiven Bearbeitung nicht zur Geltung kommen.

Bekannt ist auch eine Werkzeugelektrode zur elektroerosiven Bearbeitung, die aus einem Schaumstoff, beispielsweise aus Kupfer, hergestellt ist, in dem die Porosität 15 bis 25% und die Porengrösse 10 bis 40 µm ausmacht. Bei dieser Elektrode ist ausser acht gelassen worden, dass die hohen Fertigungseigenschaften bei der elektroerosiven Bearbeitung nicht durch die gesamte Porigkeit des Elektrodenmaterials von 15 bis 25%, sondern durch seine offene Porigkeit bestimmt werden. Darin lagen eine starke Streuung und eine Verschlechterung der Fertigungseigenschaften im Zusammenhang mit dem Auftreten einer geschlossenen Porigkeit begründet, die auf die Parameter des verwendeten technologischen Prozesses zur Herstellung des Materials zurückzuführen ist. Die geschlossene Porigkeit des Materials führt zu einer lokalen Überhitzung der Arbeitsfläche der Werkzeugelektrode bei der elektroerosiven Bearbeitung und als Folge davon zu einem Geschwindigkeitsabfall bei der Materialabnahme wegen der Bearbeitung in einem Dampf-Gas-Medium sowie zu einer Verschleisszunahme. Darüber hinaus sind die genannten Porengrössen für eine Halbschlicht- und Schlichtbearbeitung mit $R_a \leq 10$ µm gross, weil die elektroerosive Bearbeitung ein Nachformverfahren ist.

Es ist ein Herstellungsverfahren für eine aus einem Schaumstoff, beispielsweise aus Kupfer, durch Warmpressen aus Pulvern im Strom eines Reduktionsgases, beispielsweise von Wasserstoff, bei einer Temperatur von 330 bis 440 °C (30 bis 40% der Schmelztemperatur) unter einem Druck von 20 bis 50 bar und mit einer anschliessenden Temperaturerhöhung beim Reduktionsgas auf 660 bis 990 °C (60 bis 90% der Schmelztemperatur) erzeugte Werkzeugelektrode bekannt.

Das genannte Verfahren wird durch folgendes gekennzeichnet. Erstens, verhindert die Anwendung des Reduktionsgases, beispielsweise des Wasserstoffes, der einen Überdruck erzeugt, den Austritt von Reduktionsprodukten aus dem Material der Werkzeugelektrode und die Erzeugung einer damit zusammenhängenden offenen Porigkeit. Darüber hinaus entsteht eine Explosionsgefahr, und es werden ein

spezieller Lagerraum für Gasflaschen und die Organisation deren zentralisierter Lieferung erforderlich.

Zweitens, sind die Temperatur von 330 bis 440 °C und der Druck von 20 bis 50 bar für eine vollständige Kupferreduktion aus den Oxyden beim Pressen unzureichend, und ausserdem wird die Werkzeugelektrode schlecht oder überhaupt nicht auf die ganze Tiefe gepresst, und ihr Material erreicht die erforderliche Dichte (Porigkeit) nicht. Der Wert der offenen Porigkeit überschreitet hierbei die Optimalwerte (10 bis 15%), was in entsprechender Weise schlechtere physikalisch-mechanische und elektroerosive Eigenschaften (Fertigungseigenschaften) der hergestellten Werkzeugelektrode zur Folge hat.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Werkzeugelektrode zur elektroerosiven Bearbeitung und ein Herstellungsverfahren für diese zu schaffen, die dank den erhaltenen physikalisch-mechanischen Eigenschaften der Werkzeugelektrode und deren Herstellungstechnologie bei der Halbschlicht- und Schlichtbearbeitung eine Verringerung des Verschleisses der Werkzeugelektrode unter Geschwindigkeitserhöhung der Materialabnahme vom Arbeitsstück und unter Verringerung der Rauheit der bearbeiteten Fläche gewährleisten.

Die gestellte Aufgabe wird durch eine Werkzeugelektrode zur elektroerosiven Bearbeitung gelöst, die aus einem Schaumstoff auf Kupferbasis hergestellt ist, dessen Material erfindungsgemäss eine offene Porigkeit von 10 bis 15% und eine Porengrösse von 2 bis 10 µm aufweist.

Die offene Art der Porigkeit gestattet es, den Effekt einer vollständigen Evakuierung von Schmelzprodukten aus einer Kolkung an der Werkstückelektrode bei Einwirken von gasdynamischen Hochtemperaturstrahlen einer aus den Poren verdampfenden Betriebsflüssigkeit zu realisieren. Dadurch, dass die Poren offen sind (d. h. mit den benachbarten Poren kommunizieren und in die Oberfläche der Werkzeugelektrode münden), werden sie durch neue Portionen der Betriebsflüssigkeit ständig gespeist. Dies führt zu einer Leistungssteigerung um das Zwei- bis Mehrfache. Zugleich damit wird auf Grund einer Pyrolyse der Betriebsflüssigkeit in den Poren bzw. an deren Wänden ein Schutzfilm abgeschieden. Ein ununterbrochenes Ansaugen der Betriebsflüssigkeit durch die offenen Poren gestattet es, den Schutzfilm wiederherzustellen. Dies setzt die Abnutzung der porigen Werkzeugelektrode sprunghaft herab.

Eine offene Porigkeit unterhalb von 10% ist unzureichend und lässt nicht die obengenannten Vorteile sowohl hinsichtlich der Geschwindigkeit der Materialabnahme als auch in Bezug auf den Verschleiss realisieren. Eine Vergrösserung der offenen Porigkeit des Werkstoffes über 15% hat eine Verschlechterung der physikalisch-mechanischen und also auch der Fertigungseigenschaften (der elektroerosiven Eigenschaften) zur Folge. Das Vorhandensein einer geschlossenen Porigkeit an der Werkzeugelektrode führt zur Entstehung von Herden einer lokalen Überhitzung auf den gegebenen Abschnitten, die zu einer Leistungsminderung bei der Bearbeitung wegen Entladungen im Gas-Dampf-Medium führen.

Da die elektroerosive Senk-Bearbeitung ein Kopiervfahren darstellt, gestattet es die Porengrösse unterhalb von 10 µm, bei der Halbschlicht- und Schlichtbearbeitung eine Rauheit der bearbeiteten Fläche von $R_a < 10 \mu m$ zu erzielen. Wie die zahlreichen Versuche gezeigt haben, werden die Poren bei deren Grösse unterhalb 2 µm infolge eines grossen hydraulischen Widerstandes mit der Betriebsflüssigkeit nicht gefüllt. Hierbei kommt es nicht zur Realisierung der Vorteile der porösen Struktur der Werkzeugelektrode (Steigerung der Bearbeitungsleistung und der Standzeit der Werkzeugelektrode).

Zweckmässig ist, dass das Material der Werkzeugelektrode ausser dem Kupfer fein verteilte Zugaben aus Metalloxiden in Verbindung mit Bor enthält.

Die fein verteilten Zugaben zum Material der Werkzeugelektrode erbringen in Verbindung mit Bor einen Abschirmeffekt während einer elektroerosiven Entladung. Überdies gestatten die Zersetzung des Metalloxides und die Entsendung negativer Ionen in den Entladekanal, Ionen zu neutralisieren, die die Werkzeugelektrode beschliessen.

Die besten Resultate werden in dem Fall erzielt, wo als Oxid Chromoxid (Cr_2O_3) eingesetzt wird.

Es ist zweckmässig, dass das Material der Werkzeugelektrode in Gew.-% enthält:

Chromoxid (Cr_2O_3)	2 bis 10
Bor (B)	0,1 bis 1
Kupfer (Cu)	den Rest.

Das Vorhandensein von Chromoxid (Cr_2O_3) in einer Menge unterhalb von 2% ergibt die obengenannten Resultate nicht, während bei einer Überschreitung von 10% eine Leistungsminderung und eine Erhöhung des Verschleisses der Werkzeugelektrode auf Grund einer Verschlechterung von integralen wärmephysikalischen Eigenschaften ihres Materials eintreten.

Die gestellte Aufgabe wird auch durch ein Verfahren zur Herstellung der Werkzeugelektrode zur elektroerosiven Bearbeitung aus einem Schaumstoff auf Kupferbasis durch dessen Warmpressen gelöst, bei dem das Pressen erfindungsgemäss in einem Vakuum von $1,3 \text{ bis } 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ Pa}$ bei einer Temperatur von 650 bis 975 °C unter einem Druck von 50 bis 110 bar erfolgt.

Das Warmpressen der Werkzeugelektroden im Vakuum unterhalb von 1,3 Pa führt dazu, dass keine Reduzierung der Oxidschichten im Material der Werkzeugelektrode stattfindet. Ein Vakuum oberhalb der oberen Grenze führt zu keiner Verbesserung der Eigenschaften der Werkzeugelektrode, verlängert aber, kompliziert und verteuert das Herstellungsverfahren.

Bei einer Temperaturerhöhung über die obere Grenze erfolgen eine grosse Abkühlshrumpfung des Materials, eine Schliessung der Poren und eine Nichteinhaltung der Bedingungen für die Erzielung einer offenen Porigkeit von 10 bis 15% und einer geschlossenen Porigkeit unterhalb von 5%. Bei einer Temperaturniedrigung unter die untere Grenze erfolgt keine vollständige Kupferreduktion aus den Oxiden. Die Werkzeugelektrode wird auf die ganze Tiefe schlecht oder überhaupt nicht gepresst, und das Material der Werkzeugelektrode erreicht die erforderliche Dichte nicht.

Beim Pressen der Werkzeugelektrode bei einem Druck unterhalb von 50 bar und bei einer vorgegebenen Temperaturführung übersteigt der Wert der offenen Porigkeit des Materials die Vorgabewerte (10 bis 15%). Eine Erhöhung des Pressdrucks im vorgegebenen Temperaturbereich über 110 bar führt dazu, dass die einzelnen Abschnitte der Werkzeugelektrode übermässig gepresst werden und eine offene Porigkeit unter 10% aufweisen (die Struktur der Proben liegt nahe an einer kompakten Struktur mit einer geringen Menge der geschlossenen Poren).

Im folgenden wird die vorliegende Erfindung durch eingehende Beschreibung eines Ausführungsbeispiels derselben erläutert.

Es wird eine Werkzeugelektrode zur elektroerosiven Bearbeitung vorgeschlagen, die aus einem Schaumstoff auf Kupferbasis hergestellt ist.

Gemäss der Erfindung wird das Material durch eine offene Porigkeit von 10 bis 15% gekennzeichnet, wobei die offenen Porengrössen 2 bis 10 µm betragen.

Ausser dem Kupfer enthält das Material der Werkzeugelektrode fein verteilte Zugaben aus Metalloxiden in Verbindung mit Bor. Als Metalloxid enthält das Material Chromoxid (Cr_2O_3). Hierbei weist das Material der Werkzeugelektrode eine folgende chemische Zusammensetzung in Gew.-% auf:

Chromoxid (Cr_2O_3)	2 bis 10
Bor (B)	0,1 bis 1
Kupfer (Cu)	den Rest.

Das die genannte Porigkeit und Zusammensetzung aufweisende Material der Werkzeugelektrode sichert einen geringen Verschleiss der Werkzeugelektrode, eine hohe Geschwindigkeit der Materialabnahme beim Arbeitsstück und eine Verringerung der Rauheit der zu bearbeitenden Oberfläche.

Bei dem Herstellungsverfahren wird als Material für die genannte Werkzeugelektrode ein Schaumstoff auf Kupferbasis genommen, der einem Warmpressen unterzogen wird.

Gemäss der Erfindung wird das Pressen in einem Vakuum von $1,3 \text{ bis } 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ Pa}$ bei einer Temperatur von $650 \text{ bis } 975^\circ\text{C}$ unter einem Druck von 50 bis 110 bar durchgeführt.

Zum besseren Verständnis der Erfindung werden nachfolgend deren konkrete Ausführungsbeispiele aufgeführt.

Es wurde ein Schaumstoff auf Kupferbasis genommen, der 3% Cr_2O_3 , 1% B, 94% C mit einer offenen Porigkeit von 10, 12, 15% und mit einer Porengrösse von 2,0; 5; 10 enthält; das Material der genannten Zusammensetzung wurde einem Warmpressen bei einer Temperatur von 900°C unter einem Druck von 96 bar in einem Vakuum von 0,13 Pa unterzogen. Die erhaltenen Proben (die Probenfläche beträgt 500 mm^2 , das zu bearbeitende Material ist Stahl 45 – Tabelle 1 – und die Hartlegierung – Tabelle 2) wurden nach einer den auf diesem Gebiet tätigen Fachleuten bekannten Methodik im Testbetrieb der elektroerosiven Bearbeitung auf einer Nachform-Stossräummaschine mit einem elektrohydraulischen Antrieb, versehen mit einem Impulsgenerator, geprüft. Die Prüfungen wurden bei folgenden Betriebsverhältnissen durchgeführt: für den Stahl (Tabelle 1) sind die Frequenz $f = 88 \text{ kHz}$, der Arbeitsstrom $I = 16 \text{ A}$, die Polung umgekehrt (Werkzeugelektrode ist positiv); für die Hartlegierung (Tabelle 2) sind die Frequenz $f = 88 \text{ kHz}$, der Arbeitsstrom $I = 11 \text{ A}$, die Polung normal (Werkzeugelektrode ist negativ). Die Prüfergebnisse sind in den Tabellen 1 und 2 zusammengefasst.

25

Tabelle 1

Probe Nr.	Zusammensetzung	(offene) Porigkeit, (%)	Porengrösse, (μm)	Abnahme- geschwindigkeit, $\frac{\text{mm}^3}{\text{min. A}}$	relativer Verschleiss, (%)	Oberflächen- rauheit, (μm)
1	2	3	4	5	6	7
1	Cu-94% Cr_2O_3 -3% B-1%	10	10	7,8	18,5	3
2	dto.	15	10	8,0	22,1	3
3	dto.	12	10	8,3	15,0	3
4	dto.	12	5	8,0	24,2	3
5	dto.	12	2	7,5	25	3
6 bekanntes Material	Kupfer mit der Gesamtporigkeit von 15%	nicht gemessen	30 bis 40	7,3	38,2	4

Tabelle 2

Probe Nr.	Zusammensetzung	(offene) Porigkeit, (%)	Porengrösse (μm)	Abnahme- geschwindigkeit, $\frac{\text{mm}^3}{\text{min. A}}$	relativer Verschleiss, (%)	Oberflächen- rauheit, (μm)
1	2	3	4	5	6	7
1	Cu-94% Cr_2O_3 -3% B-1%	10	10	2,6	45,6	2,0
2	dto.	15	10	2,5	50,2	2,0
3	dto.	12	10	3,0	38,0	2,0
4	dto.	12	5	2,3	50,3	2,0
5	dto.	12	2,0	2,0	51,0	2,0
6 bekanntes Material	Kupfer + 3% Bornitrid	nicht gemessen	nicht gemessen	1,9	50,1	2,0