



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 42 27 005 B4** 2006.03.30

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **P 42 27 005.7**  
(22) Anmeldetag: **14.08.1992**  
(43) Offenlegungstag: **17.02.1994**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **30.03.2006**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **B23H 3/02** (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**Frembgen, Fritz-Herbert, 87700 Memmingen, DE**

(74) Vertreter:  
**Vonnemann, Kloiber & Kollegen, 87437 Kempten**

(72) Erfinder:  
**gleich Patentinhaber**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:  
**DE 40 40 590 C1**  
**EP 3 08 246 A1**  
**MAUZ, W.: Anlagen für das elektrochemische For-**  
**mentgraten. In: VDI-Berichte Nr.159, 1970, VDI-**  
**Verlag GmbH Düsseldorf, S.113;**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Regelung des Stromes bei einem elektrochemischen Bearbeitungsprozeß**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Regelung des Stromes bei einem elektrochemischen Bearbeitungsprozeß, bei dem zwischen Werkzeug und Werkstück ein, von einem Elektrolyten durchströmter Arbeitsspalt gebildet wird, dessen Breite durch Materialabtrag vergrößert wird, indem vom Werkzeug zum Werkstück ein Gleichstrom fließt, der am Ende des Bearbeitungsprozesses größer als am Anfang ist, dadurch gekennzeichnet, daß der Bearbeitungsprozeß mindestens zwei Bearbeitungsperioden umfaßt, zwischen denen ein sprunghafter Stromanstieg erfolgt.

**Beschreibung**

## Stand der Technik

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung des Stromes bei einem elektrochemischen Bearbeitungsprozeß, bei dem zwischen Werkzeug und Werkstück ein, von einem Elektrolyten durchströmter Arbeitsspalt gebildet wird, dessen Breite durch Materialabtrag vergrößert wird, indem vom Werkzeug zum Werkstück ein Gleichstrom fließt, der am Ende des Bearbeitungsprozesses größer als am Anfang ist. Aus der DE 40 40 590 C1 ist ein derartiges Verfahren bekannt. Bei diesem bekannten Verfahren wird der Materialabtrag in einem Probelauf bestimmt, der z.B. mit konstanter Stromstärke gefahren wird. Das Produkt aus Stromstärke und Bearbeitungszeit ist dem Materialabtrag proportional. In diesem Probelauf wird z.B. der Spannungsanstieg in Abständen oder fortlaufend gemessen, der zu einem Konstantstrom über die ganze Dauer des Arbeitsprozesses führt. Für die anschließenden Arbeitsprozesse wird dann aber nicht diese Konstantstromregelung angewandt, vielmehr wird ausgehend von derselben Anfangsstromstärke die Strommenge pro Zeiteinheit kontinuierlich oder feinstufig über die ganze Dauer des Bearbeitungsprozesses stetig bis auf die Endstromstärke erhöht, die z. B. 10% über der Anfangsstromstärke liegen kann. Diesem bekannten Verfahren lag der Gedanke zugrunde, daß während des Bearbeitungsprozesses sich die Spaltbreite stetig vergrößert, so daß mehr Elektrolyt durch den Spalt fließen und dadurch auch mehr an Wärme abgeführt werden kann. Das bekannte Verfahren hat sich bewährt und führt zu einer Reduzierung der Bearbeitungszeit verglichen mit einer Konstantstromregelung.

**[0002]** Aus der EP 308 246 A1 ist ein Verfahren bekannt, bei dem in zwei Bearbeitungsperioden mit unterschiedlichen Impulslängen gearbeitet wird. Aus Mauz, W.: Anlagen für das elektrochemische Formgraten in: VDI-Berichte Nr. 159, 1970, Seite 113, VDI-Verlag GmbH Düsseldorf ist prinzipiell bekannt, dass sich die Arbeitsspannung in 2-Volt-Stufen einstellen lässt, was bei Umschaltung einen sprunghaften Stromanstieg oder -Abfall zur Folge hat.

## Aufgabenstellung

**[0003]** Aufgabe der Erfindung ist es, ein Stromregelungsverfahren zu schaffen, mit dem die Bearbeitungszeit weiterhin reduziert werden kann.

**[0004]** Diese Aufgabe wird bei dem Verfahren der eingangs genannten Art dadurch gelöst, daß der Bearbeitungsprozeß mindestens zwei Bearbeitungsperioden umfasst, zwischen denen ein sprunghafter Stromanstieg erfolgt.

**[0005]** Der Gleichstrom kann stetig oder gepulst zu-

geführt werden, wobei die am Ende des Prozesses vorhandene Stromerhöhung auch durch Vergrößerung der Pulsbreiten erreicht werden kann.

**[0006]** Beim elektrochemischen Bearbeiten und zwar insbesondere beim Entgraten von Werkstücken zeigt sich, daß der abzutragende Grat längs der zu bearbeitenden Kantenlänge häufig ungleichmäßig ist. Es gibt bestimmte lokale Bereiche, in denen der Abstand zwischen Werkstück und Werkzeug kleiner ist als in den übrigen Bereichen. Man kann von sogenannten Gratspitzen sprechen. Da in diesen Bereichen der elektrische Widerstand am kleinsten ist, fließt hier der größte Strom und dieser muß begrenzt werden, um eine örtliche Überhitzung zu vermeiden, die zur Zerstörung des Werkstückes und des Werkzeuges infolge Funkenüberschlages führen könnte. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren wird nun eine erste Bearbeitungsperiode vorgeschlagen, in der die Stromstärke je nach Konfiguration der abzutragenden Gratspitzen, deren Anzahl und Verteilung über die gesamte zu bearbeitende Kantenlänge gerade so niedrig gewählt wird, daß eine Überhitzung des Elektrolyten ausgeschlossen ist. Ein sicherer Wert für den Anfangsstrom ist 0,5 A/mm Gesamtkantenlänge. Die Dauer der ersten Bearbeitungsperiode ist ebenfalls von der Ausbildung der Gratspitzen und deren Häufigkeit abhängig. Im allgemeinen beträgt diese Dauer 10% bis etwa 40% der Gesamtbearbeitungszeit. In vielen Fällen reicht eine erste Bearbeitungsperiode im Bereich von 1 Sek. bis etwa 3 Sek. aus, um die Gratspitzen abzutragen, den Grat also insgesamt zu nivellieren. Danach kann nun erfindungsgemäß der Arbeitsstrom sprunghaft erhöht werden und zwar mindestens um 30%. Die Erfahrung hat aber gezeigt, daß in sehr vielen Anwendungsfällen ein sprunghafter Stromanstieg nach Beseitigung der Gratspitzen auf das Dreifache bis zum Zehnfachen des Anfangsstromes möglich ist, ohne daß es zu einer örtlichen Überhitzung und einer damit einhergehenden Verdampfung des Elektrolyten kommt, weil eben die Engstellen in der ersten Bearbeitungsperiode beseitigt sind, so daß sich ein homogenerer Stromfluß ausbildet. Je nach der Länge des Gesamtbearbeitungsprozesses kann sich an die zweite Bearbeitungsperiode, die vorzugsweise auf dem sprunghaft erhöhten Stromniveau gefahren wird, noch eine weitere Stromanstiegsstufe anschließen. In den allermeisten Fällen reicht aber ein einstufiges Stromregelungsverfahren aus, wobei in der ersten kürzeren Bearbeitungsperiode der Strom konstant oder ansteigend zugeführt wird und dann der sprunghafte Stromanstieg auf die Endstromstärke erfolgt, die dann bis zum Ende des Bearbeitungsprozesses eingehalten wird. Der Erfolg des erfindungsgemäßen Verfahrens ist eine weitere Reduzierung der Bearbeitungszeit. Auch die softwaremäßige Steuerung der Stromzufuhr ist einfacher. In vielen Fällen können Probelaufe mit Spannungsmessungen ganz entfallen.

**[0007]** Sie sind nur noch dann sinnvoll, wenn die prozentuale Dauer der ersten Bearbeitungsperiode zu minimieren und die Stromstärke während der ersten Bearbeitungsperiode und/oder der zweiten Bearbeitungsperiode zu maximieren sind.

**[0008]** In den allermeisten Anwendungsfällen führt das erfindungsgemäße Verfahren zum Erfolg, wenn die zeitliche Dauer der ersten Bearbeitungsperiode  $1/3$  der Gesamtbearbeitungszeit eingestellt wird, die Stromstärke während der ersten Bearbeitungsperiode mit etwa  $0,5 \text{ A/mm}$  der zu bearbeitenden Kantenlänge vorgegeben wird und der sprunghafte Stromanstieg etwa  $300\%$  des konstanten Anfangsstromes beträgt, wobei dieser auf das Dreifache erhöhte Strom während der Dauer der zweiten Bearbeitungsperiode beibehalten wird.

#### Ausführungsbeispiel

##### Beispiel

**[0009]** Ein Kettenrad mit Graten von  $0,7 \text{ mm}$  Höhe ist elektrochemisch zu bearbeiten. Die zu bearbeitende Kantenlänge beträgt etwa  $200 \text{ mm}$ .

a) Wird das Konstantstromregelungsverfahren angewendet, stellt man die Stromstärke auf  $100 \text{ A}$  ein und es ergibt sich entsprechend der insgesamt abzutragenden Materialmenge eine Entgratzeit von  $20 \text{ Sekunden}$ . Das Strom- Zeit-Produkt beträgt dann  $2000 \text{ As}$  (Ampersekunden).

b) Das eingangs beschriebene Stromregelungsverfahren gemäß DE 4040 590 C1 würde mit einem Anfangsstrom von  $100 \text{ A}$  beginnen, wonach der Strom kontinuierlich linear auf  $110 \text{ A}$  erhöht wird, mit dem Erfolg, daß die Entgratzeit  $19 \text{ Sekunden}$  beträgt. Würde man dagegen den linearen kontinuierlichen Stromanstieg steiler verlaufen lassen mit einer Endstromstärke von  $300 \text{ A}$ , so würde daraus eine Entgratzeit von  $10 \text{ Sekunden}$  resultieren.

c) Das erfindungsgemäße Verfahren beginnt mit einer Stromstärke von  $100 \text{ A}$ , die während der ersten Bearbeitungsperiode beibehalten wird. Die Dauer der ersten Bearbeitungsperiode beträgt  $3 \text{ Sekunden}$ . Danach erfolgt ein sprunghafter Anstieg auf  $300 \text{ A}$  und mit dieser dreifachen Stromstärke wird die zweite Bearbeitungsperiode gefahren, die  $6 \text{ Sekunden}$  dauert. Es ergibt sich also eine Gesamtbearbeitungszeit von  $9 \text{ Sekunden}$ .

**[0010]** Bei allen drei Stromregelungsverfahren wird zur Entgratung dieselbe Gesamtstrommenge von  $2000 \text{ As}$  zugeführt. Die Entgratzeit beim erfindungsgemäßen Verfahren gemäß lit. c beträgt nur  $45\%$  der beim Konstantstrom-Regelungsverfahren aufzuwendenden Zeit. Gegenüber dem verbesserten Regelungsverfahren nach dem Stand der Technik gemäß lit. b wird – wenn dort die zweite Alternative in Bezug genommen wird – immerhin noch eine Zeitersparnis

von  $10\%$  erzielt. Bei Großserien ist diese Zeitersparnis markant und sie läßt sich durch Optimierung noch weiter vergrößern, insbesondere, wenn die Gratkonfiguration des Werkstückes dies zuläßt, um z.B. die prozentuale Dauer der ersten Bearbeitungsperiode zu verringern und die zugehörige Anfangsstromstärke zu erhöhen. Von besonderem Einfluß auf die Reduzierung der Gesamtbearbeitungszeit ist die Größe des Endstromes, also des Stromes in der zweiten Bearbeitungsperiode und dieser wird durch die Spaltweite zwischen Werkzeug und Werkstück einerseits und damit von der Menge des durch den Spalt fließenden Elektrolyten genauso bestimmt wie vom Kontaktübergangswiderstand zwischen den Anoden und dem Werkstück sowohl in elektrischer als auch in thermischer Hinsicht. Darüberhinaus begrenzen auch der Querschnitt der Stromzuführungen und die maximale Generatorspannung die Höhe des Endstromes.

**[0011]** Generell läßt sich sagen, daß die prozentuale Dauer der ersten Bearbeitungsperiode in Abhängigkeit von dem Quotienten aus der Summe gratbehafteter bzw. stark zu bearbeitender Kantenstücke am Arbeitsspalt und der zu bearbeitenden Gesamtkantenlänge bestimmt wird. Ist dieser Quotient klein, so kann auch die prozentuale Dauer der ersten Bearbeitungsperiode niedrig gewählt werden. Die Stromstärke zu Beginn der ersten Bearbeitungsperiode liegt vorzugsweise im Bereich von etwa  $0,5 \text{ A}$  bis etwa  $5 \text{ A}$  pro  $\text{mm}$  zu bearbeitender Kantenlänge und hier muß ein Wert im unteren Bereich gewählt werden, wenn der auf die zu bearbeitende Gesamtkantenlänge bezogene Längenanteil stark abzutragender Bereiche klein ist. Andernfalls würde es im Bereich dieser Gratspitzen zu örtlichen Überhitzungen kommen. Liegen dagegen günstigere Verhältnisse vor, insbesondere hinsichtlich einer gleichmäßigen Kante mit allenfalls geringer Grathöhe, so kann mit einem Anfangsstrom im oberen Teil des angegebenen Bereiches gefahren werden, weil sich der Arbeitsstrom im wesentlichen über die ganze Kantenlänge verteilt.

**[0012]** Auch für die Höhe des Faktors des sprunghaften Stromanstieges spielt der Längenanteil stark abzutragender Gratstücke bezogen auf die zu bearbeitende Gesamtkantenlänge eine Rolle, denn wenige lokale Gratspitzen können während der ersten Bearbeitungsperiode so weit nivelliert werden, daß für den Stromanstiegsfaktor im Bereich von etwa  $2$  bis etwa  $10$  ein Wert im oberen Bereich gewählt werden kann, jedenfalls dann, wenn die übrigen vorstehend genannten Kriterien hinsichtlich der Begrenzung des Endstromes dies zulassen.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung des Stromes bei einem elektrochemischen Bearbeitungsprozeß, bei

dem zwischen Werkzeug und Werkstück ein, von einem Elektrolyten durchströmter Arbeitsspalt gebildet wird, dessen Breite durch Materialabtrag vergrößert wird, indem vom Werkzeug zum Werkstück ein Gleichstrom fließt, der am Ende des Bearbeitungsprozesses größer als am Anfang ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Bearbeitungsprozeß mindestens zwei Bearbeitungsperioden umfaßt, zwischen denen ein sprunghafter Stromanstieg erfolgt.

anteil stark abzutragender Bereiche klein ist.

Es folgt kein Blatt Zeichnungen

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine erste Bearbeitungsperiode mit konstanter oder ansteigender Stromstärke durchgeführt wird, bevor der Strom sprunghaft erhöht wird und daß die Dauer der ersten Bearbeitungsperiode im Bereich von etwa 10% bis etwa 40% der gesamten Bearbeitungszeit liegt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der sprunghafte Stromanstieg mindestens 30% der am Ende der ersten Bearbeitungsperiode vorhandenen Stromstärke ausmacht.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Stromstärke am Ende des Bearbeitungsprozesses mindestens etwa das Dreifache der Anfangsstromstärke beträgt.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der sprunghafte Stromanstieg einen Wert im Bereich von etwa 2 bis etwa 10 aufweist und einen Wert im oberen Teil des Bereiches gewählt wird, wenn der auf die zu bearbeitende Gesamtkantenlänge bezogene Längenanteil stark abzutragender Bereiche klein ist.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Stromstärke in der mindestens einen, sich an den sprunghaften Stromanstieg anschließenden Bearbeitungsperiode etwa konstant gehalten wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die prozentuale Dauer der ersten Bearbeitungsperiode in Abhängigkeit von dem Quotienten aus der Summe gratbehafteter bzw. stark zu bearbeitender Kantenstücke am Arbeitsspalt und der zu bearbeitenden Gesamtkantenlänge bestimmt wird und bei kleinem Quotienten auch die prozentuale Dauer der ersten Bearbeitungsperiode niedrig gewählt wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Stromstärke zu Beginn der ersten Bearbeitungsperiode im Bereich von etwa 0,5 A bis etwa 5 A pro mm zu bearbeitender Kantenlänge liegt und daß ein Wert im unteren Teil des Bereiches gewählt wird, wenn der auf die zu bearbeitende Gesamtkantenlänge bezogene Längen-