



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**19.09.2001 Patentblatt 2001/38**

(51) Int Cl.7: **B05D 1/04, B05B 5/053**

(21) Anmeldenummer: **01101707.6**

(22) Anmeldetag: **25.01.2001**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**AL LT LV MK RO SI**

(30) Priorität: **27.01.2000 DE 10003295**

(71) Anmelder: **EISENMANN MASCHINENBAU KG  
(Komplementär: EISENMANN-Stiftung)  
D-71032 Böblingen (DE)**

(72) Erfinder: **Reichler, Jan  
78465 Konstanz (DE)**

(74) Vertreter: **Ostertag, Ulrich, Dr.  
Patentanwälte  
Dr. Ulrich Ostertag  
Dr. Reinhard Ostertag  
Eibenweg 10  
70597 Stuttgart (DE)**

(54) **Verfahren zum elektrostatischen Beschichten eines Werkstücks sowie Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens**

(57) Eine Vorrichtung zum elektrostatischen Beschichten eines Werkstücks umfaßt eine Applikationseinrichtung (1) für elektrisch geladenes Beschichtungsmaterial (2). Eine Spannungsquelle (6) erzeugt eine Spannung zwischen der Applikationseinrichtung (1) und dem Werkstück (3). Der durch den Fluß des elektrisch geladenen Beschichtungsmaterials (2) von der Applikationseinrichtung (1) auf das Werkstück (3) bestimmte Betriebsstrom wird von einer mit der Spannungsquelle (6) zusammenarbeitenden Regeleinrichtung geregelt. Letztere umfaßt eine Spannungssteuerung (8). Eine Nachführeinrichtung (10), die eine Relativbewegung

zwischen dem Werkstück (3) und der Applikationseinrichtung (1) während des Beschichtens erzeugt, arbeitet mit der Regeleinrichtung (11) zusammen. Sie kann dann zur Veränderung des Abstandes zwischen Werkstück (3) und Applikationseinrichtung (1) in Funktion gesetzt werden, wenn durch die Funktion der Spannungssteuerung (8) alleine der Betriebsstrom nicht innerhalb der vorgegebenen Grenzen gehalten werden kann, ohne einen vorgegebenen Spannungsbereich zu verlassen. Dadurch werden sowohl der Betriebsstrom als auch die Spannung innerhalb vorgegebener Grenzen gehalten, was das Beschichtungsergebnis verbessert.

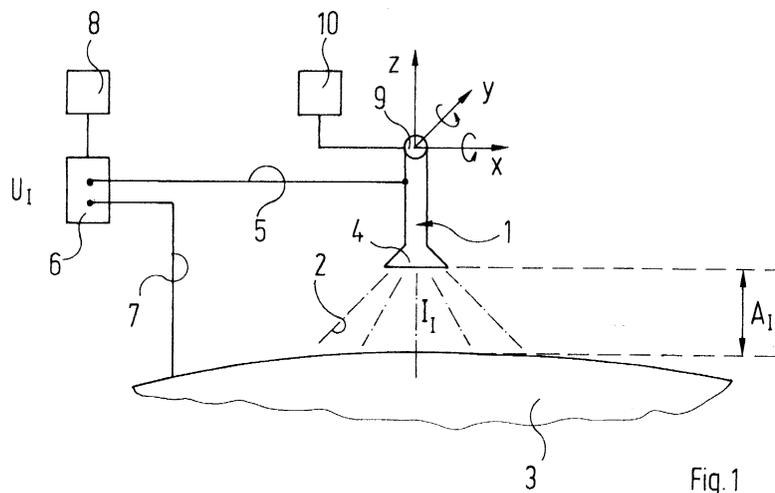


Fig. 1

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum elektrostatischen Beschichten eines Werkstücks mit einer Beschichtungsvorrichtung, welche umfaßt:

- a) eine Applikationseinrichtung für elektrisch geladenes Beschichtungsmaterial;
- b) eine Spannungsquelle, die eine Spannung zwischen der Applikationseinrichtung und dem Werkstück erzeugt;
- c) eine mit der Spannungsquelle zusammenarbeitende, eine Spannungssteuerung umfassende Regeleinrichtung für den Betriebsstrom, welcher durch den Fluß des elektrisch geladenen Beschichtungsmaterials von der Applikationseinrichtung auf das Werkstück vorgegeben ist;
- d) eine Nachführeinrichtung zum Erzeugen einer Relativbewegung zwischen dem Werkstück und der Applikationseinrichtung während des Beschichtens;

welches folgende Schritte umfaßt:

- e) Erfassen eines Betriebsstrom-Ist-Werts  $I_I$ ;
- f) Vergleichen des Betriebsstrom-Ist-Werts  $I_I$  mit einem vorgegebenen Betriebsstrom-Soll-Wert  $I_S$ ;
- g) Regeln des Betriebsstroms auf den Betriebsstrom-Soll-Wert  $I_S$ .

**[0002]** Weiterhin betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens, welche umfaßt:

- a) eine Applikationseinrichtung für elektrisch geladenes Beschichtungsmaterial;
- b) eine Spannungsquelle, die eine Spannung zwischen der Applikationseinrichtung und dem Werkstück erzeugt;
- c) eine mit der Spannungsquelle zusammenarbeitende, eine Spannungssteuerung umfassende Regeleinrichtung für den Betriebsstrom, welcher durch den Fluß des elektrisch geladenen Beschichtungsmaterials von der Applikationseinrichtung auf das Werkstück vorgegeben ist;
- d) eine Nachführeinrichtung zum Erzeugen einer Relativbewegung zwischen dem Werkstück und der Applikationseinrichtung während des Beschichtens;

**[0003]** Zum Erzielen eines guten Beschichtungser-

gebnisses bei der elektrostatischen Beschichtung trägt eine Reihe von Betriebsparametern der Beschichtungsvorrichtung bei. So wurde beim elektrostatischen Beschichten von Werkstücken mit Farblackpulvern festgestellt, daß das Erzielen einer gewünschten Farb-, Brillanz-, Effekt- und Glanzwirkung sowohl vom Betriebsstrom als auch von der Spannung zwischen der Applikationseinrichtung und dem Werkstück abhängt. Nur bei Einhalten relativ enger Grenzen sowohl für den Betriebsstrom als auch die Spannung ist eine effiziente und gleichzeitig homogene Beschichtung möglich, die die gewünschten Eigenschaften aufweist.

**[0004]** Bekannte elektrostatische Beschichtungsverfahren bzw. -vorrichtungen weisen zwar Regeleinrichtungen für den Betriebsstrom auf; der Betriebsstrom wird hierbei jedoch nur zur Vermeidung von Überschlängen zwischen der Applikationseinrichtung und dem Werkstück geregelt. Bei Vorliegen bestimmter Voraussetzungen wird die Stromregelung zugunsten einer Spannungsregelung aufgegeben, so daß Strom und Spannung nicht gleichzeitig innerhalb vorgegebener Grenzen gehalten werden.

**[0005]** Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren der eingangs genannten Art derart weiterzubilden, daß der Betriebsstrom und die Spannung zwischen der Applikationseinrichtung und dem Werkstück gleichzeitig innerhalb vorgegebener Grenzen gehalten werden.

**[0006]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß folgende weitere Schritte durchgeführt werden:

a) Zunächst wird durch eine Veränderung der Spannung innerhalb vorgegebener Grenzen versucht, den Betriebsstrom-Ist-Wert  $I_I$  in einen zulässigen Regelbereich um den Betriebsstrom-Soll-Wert  $I_S$  zu bringen;

b) Wenn dies nicht ausreicht, wird der Abstand  $A_I$  zwischen Applikationseinrichtung und Werkstück so verändert, daß der Betriebsstrom-Ist-Wert  $I_I$  in den zulässigen Regelbereich um den Betriebsstrom-Soll-Wert  $I_S$  gebracht wird.

**[0007]** Durch dieses Verfahren wird der Abstand  $A_I$  zwischen Applikationseinrichtung und Werkstück als zusätzlicher Regelparameter ins Spiel gebracht. Der Betriebsstrom ist nämlich nicht nur von der Spannung sondern auch von diesem Abstand abhängig. Die Abstandsregelung schafft daher die Möglichkeit, sowohl den Betriebsstrom als auch die Spannung innerhalb vorgegebener Grenzen zu halten und dadurch das gewünschte Beschichtungsergebnis zu erzielen, wenn eine bloße Spannungsänderung hierfür nicht ausreicht.

**[0008]** Das Verfahren kann dabei die periodische Wiederholung der folgenden Schritte umfassen:

a) Erfassen eines Spannungs-Ist-Werts  $U_I$ , der der

Spannung zwischen der Applikationseinrichtung und dem Werkstück entspricht;

b) Berechnen eines neuen, zur Einstellung des Betriebsstroms in die vorgegebenen Grenzen theoretisch erforderlichen Spannungswerts  $U_N$  unter Berücksichtigung des Spannungs-Ist-Wert  $U_I$  und der Differenz zwischen Betriebsstrom-Ist-Wert  $I_I$  und Betriebsstrom-Soll-Wert  $I_S$ ;

c) Regeln des Betriebsstroms über eine Vorgabe des neuen Spannungswerts  $U_N$  für die Spannungssteuerung, falls der theoretische neue Spannungswert  $U_N$  innerhalb der vorgegebenen Grenzen für die Spannung liegt;

d) zumindest teilweises Regeln des Betriebsstroms über eine Änderung eines Abstands-Ist-Werts  $A_I$  zwischen der Applikationseinrichtung und dem Werkstück mittels der Nachführeinrichtung, falls der theoretische neue Spannungswert  $U_N$  nicht innerhalb vorgegebener Grenzen für die Spannung liegt.

**[0009]** Ein derartiges Verfahren läßt sich einfach in ein digitales Regelungsprogramm, z.B. für eine Meßwerterfassungskarte mit entsprechenden Steuer- ein- und -ausgängen, umsetzen.

**[0010]** Bei einer bevorzugten Ausgestaltung des Verfahrens werden dann, wenn der zuvor eingestellte Spannungswert nicht im mittleren Bereich zwischen den vorgegebenen Grenzen für die Spannung liegt und der nächste theoretische neue Spannungswert  $U_N$  nicht innerhalb der vorgegebenen Grenzen liegt, folgende Schritte durchgeführt:

a) Vorgeben eines neuen Spannungswerts  $U_N$  für die Spannungssteuerung, der im wesentlichen zentral innerhalb der vorgegebenen Grenzen für die Spannung liegt;

b) Überkompensieren der Abweichung des Betriebsstrom-Ist-Werts  $I_I$  vom Betriebs-Soll-Wert  $I_S$  durch eine entsprechende Änderung des Abstands  $A_T$ .

**[0011]** Ist bei der Regelung der Betriebsparameter eine Abstandsänderung erforderlich, so wird in dieser Weise die Abstandsänderung auch dazu genutzt, den normalerweise für die Betriebsstromregelung herangezogenen Spannungswert wieder zentral in ein vorgegebenes "Fenster" zu setzen. Dadurch wird sichergestellt, daß für nachfolgend erforderliche Betriebsstrom-Regelschritte ein ausreichender möglicher Spannungshub zur Verfügung steht, so daß für diese Regelschritte auf eine zeitintensivere Abstandsregelung verzichtet werden kann.

**[0012]** Das Verfahren kann folgende weitere Schritte umfassen:

a) Erfassen des Abstands-Ist-Werts  $A_I$  zwischen der Applikations-Einrichtung und dem Werkstück;  
b) Durchführen der Betriebsstrom-Regelung nur, falls der Abstands-Ist-Wert  $A_I$  innerhalb vorgegebener Grenzen für den Abstand liegt.

**[0013]** Durch die Erfassung des Abstands wird gewährleistet, daß beim Durchführen der Beschichtung die Applikations-einrichtung keinen unzulässigen Abstand zum Werkstück einnimmt. Wird der Abstand zu groß, besteht die Gefahr, daß die Auftragsgenauigkeit zu gering wird. Größere Gefahr droht jedoch, wenn der Abstand zwischen Applikationseinrichtung und Werkstück zu gering wird. Im schlimmsten Fall ist hierbei ein Kurzschluß möglich, der unbedingt vermieden werden muß. Unterbleibt die Regelung auf Grund eines unzulässigen erfassten Abstands-Ist-Werts  $A_I$ , setzt sich der Beschichtungsvorgang nicht fort und es können Maßnahmen zur Abwendung potentieller Gefahren getroffen werden.

**[0014]** Dabei können bevorzugt die Spannungsquelle und die Applikationseinrichtung, vorzugsweise die gesamte Beschichtungsvorrichtung, deaktiviert werden, falls der Abstands-Ist-Wert  $A_I$  nicht innerhalb vorgegebener Grenzen für den Abstand liegt. Eine derartige Deaktivierung ist ein sicheres Mittel, um Problemen, die beim Erreichen eines unzulässigen Abstandes hervorgerufen werden können, zu begegnen.

**[0015]** Ein bevorzugt eingesetztes Verfahren erfaßt bei einem Initialisierungs-Beschichtungsdurchgang die Betriebsparameter der Beschichtungsvorrichtung und legt diese in einem mit der Nachführeinrichtung zusammenarbeitenden Speicher ab, wobei bei Beschichtungsdurchgängen, die dem Initialisierungs-Beschichtungsdurchgang nachfolgen, die Applikationseinrichtung gemäß den im Speicher abgelegten Betriebsparameter nachgeführt und betrieben wird.

**[0016]** Auf diese Weise muß die Regelung bei den nachfolgenden Beschichtungsdurchgängen nur dann eingesetzt werden, wenn eine Änderung äußerer Parameter vorliegt. Werkstücke gleicher Geometrie und Orientierung zur Applikations-einrichtung können praktisch ohne Eingriffe der Regelung beschichtet werden, was die Effizienz deutlich erhöht.

**[0017]** Eine Betriebsparameteränderung im Rahmen der Betriebsstrom-Regelung, die während eines Beschichtungs-Durchgangs erfolgt, der dem Initialisierungs-Beschichtungsdurchgang nachfolgt, kann also erfaßt, im Speicher abgespeichert und für den diesem Beschichtungsdurchgang nachfolgenden Beschichtungsdurchgang berücksichtigt werden. Derartige Änderungen der Betriebsparameter bei den nachfolgenden Beschichtungsvorgängen können durch statistische Toleranzen des Werkstücks bzw. der Relativposition zwischen Applikationseinrichtung und Werkstück, aber auch durch Drifteffekte der Beschichtungsvorrichtung hervorgerufen werden. Die Kenntnis der Betriebsparameter in den dem aktuellen Beschichtungsdurch-

gang vorausgehenden Beschichtungsdurchgängen kann hierbei zur Reduzierung von aus den vorstehend genannten Gründen erfolgenden Regelungseingriffen genutzt werden.

**[0018]** Dabei kann die Berücksichtigung derart erfolgen, daß beim Abspeichern der durch die im laufenden Beschichtungsdurchgang geänderten Betriebsparameter die diesen entsprechenden alten Betriebsparameter überschrieben werden. Ein derartiges Vorgehen empfiehlt sich bei längerfristigen Driftvorgängen der Beschichtungsvorrichtung, bei der die Kenntnis der Betriebsparameter beim jeweils letzten Beschichtungsdurchgang ausreicht, um für eine längere Zeitdauer künftige Regelungseingriffe zu vermeiden.

**[0019]** Alternativ kann die Berücksichtigung dadurch erfolgen, daß aus den im laufenden Beschichtungsdurchgang geänderten Betriebsparametern und den diesen entsprechenden alten Betriebsparametern ein Betriebsparameter für den folgenden Beschichtungsdurchgang berechnet und abgespeichert wird. Ein derartiges Vorgehen empfiehlt sich bei den oben genannten statistischen Fehlerquellen. Durch die Mittelung wird hierbei die Anzahl der künftig notwendigen Regelungseingriffe minimiert.

**[0020]** Die Berechnung kann durch gewichtete Mittelwertbildung erfolgen. Eine derartige Berechnung ist einfach, benötigt nur eine geringe Rechnerkapazität und ist für die meisten Anwendungen völlig ausreichend.

**[0021]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es weiter, eine Vorrichtung der eingangs genannten Art derart weiterzubilden, daß sie die gleichzeitige Einhaltung von Betriebsstrom und Spannung innerhalb gegebener Grenzen ermöglicht.

**[0022]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß

e) die Nachführeinrichtung mit der Regeleinrichtung zusammenarbeitet und zur Veränderung des Abstands zwischen Applikationseinrichtung und Werkstück in Funktion gesetzt werden kann, wenn durch die Funktion der Spannungssteuerung alleine der Betriebsstrom-Ist-Wert  $I_1$  nicht innerhalb der vorgegebenen Grenzen gehalten werden kann, ohne einen vorgegebenen Spannungsbereich zu verlassen.

**[0023]** Die Vorteile dieser Vorrichtung ergeben sich sinngemäß aus den oben genannten Vorteilen des Verfahrens.

**[0024]** Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert; es zeigen:

Figur 1 eine schematische Übersichtsdarstellung einer elektrostatischen Beschichtungsvorrichtung beim Beschichten eines Werkstücks;

Figur 2 ein Blockschaltbild einer Regeleinrichtung für den Betriebsstrom der Beschichtungsvorrichtung von Figur 1.

**[0025]** Die in Figur 1 schematisch dargestellte Beschichtungsvorrichtung weist eine Applikationseinrichtung 1 auf, mittels der elektrisch geladenes Beschichtungspulver 2 (dargestellt durch die strichpunktieren Linien in Figur 1), z.B. ein Lackpulver, auf ein Werkstück 3, z.B. ein Karosserieelement eines Fahrzeugs, aufgetragen wird. Der Fluß des von der Applikationseinrichtung 1 an das Werkstück 3 abgegebenen geladenen Beschichtungspulvers 2 gibt einen momentanen Betriebsstrom  $I_1$  vor.

**[0026]** Bei der Applikationseinrichtung 1 handelt es sich um einen bekannten Rotationszerstäuber, der mit einem nicht dargestellten Vorratsbehälter für das Beschichtungspulver in Verbindung steht.

**[0027]** Die Applikationseinrichtung 1 ist über eine Hochspannungsleitung 5 mit einer Hochspannungsquelle 6 verbunden, die über eine Masseleitung 7 mit dem Werkstück 3 in Verbindung steht. Die Hochspannungsquelle 6 arbeitet mit einer Hochspannungssteuerung 8 zusammen. Der momentane Ist-Wert der eingestellten Spannung an der Hochspannungsquelle 6 ist mit  $U_1$  bezeichnet.

**[0028]** Wie in Figur 1 schematisch dargestellt, ist die Applikationseinrichtung 1 zum Beschichten der Oberfläche des Werkstücks 3 relativ zu diesem über ein Führungselement 9 bewegbar. In der in Figur 1 dargestellten Lage der Applikationseinrichtung 1, in der ihre Achse mit der Z-Achse des dort ebenfalls dargestellten und bezüglich des Werkstücks festen kartesischen X,Y,Z-Koordinatensystems zusammenfällt, gewährt das Führungselement 9 der Applikationseinrichtung 1 fünf Bewegungsfreiheitsgrade. Diese sind die Translationsfreiheitsgrade in den Richtungen der Achsen X, Y und Z sowie die Rotationsfreiheitsgrade um die Achsen X und Y. Die Bewegung der Applikationseinrichtung 1 über das Führungselement 9 wird von einer mit dieser verbundenen Nachführeinrichtung 10 gesteuert. Der momentane Abstand des Abgabeelements 4 der Applikationseinrichtung 1 zum Werkstück 3 ist mit  $A_1$  bezeichnet.

**[0029]** Die Nachführeinrichtung 10 sowie die Hochspannungssteuerung 8 werden von einer insgesamt mit dem Bezugszeichen 11 bezeichneten Regeleinrichtung geregelt, die nun anhand von Figur 2 beschrieben wird:

**[0030]** Die Nachführeinrichtung 10 ist über eine Steuerleitung 12 mit dem Ausgang eines Differenzspannungssteuerrechners 13 verbunden. Der Differenzspannungssteuerrechner 13 empfängt über eine Meßdatenleitung 14 das Meßsignal eines Strommeßgeräts 15 zur Messung des Betriebsstrom-Ist-Werts  $I_1$ .

**[0031]** Weiterhin kann der Differenzspannungssteuerrechner 13 über eine Datenleitung 16 Vorgabewerte aus einem Speicher 17 abrufen.

**[0032]** Der Differenzspannungssteuerrechner 13 ist über eine bidirektionale Datenleitung 18 an einen zentralen Steuerrechner 19 gekoppelt, der seinerseits über eine Meßdatenleitung 20 mit einem Hochspannungsmessgerät 21 zur Messung des Spannungs-Ist-Werts  $U_1$  und über eine Datenleitung 22 mit einem Speicher 23

mit Vorgabewerten in Verbindung steht.

**[0033]** Der Steuerrechner 19 weist zwei Ausgangs-Datenleitungen 24, 25 auf: Die Ausgangs-Datenleitung 24 ist mit der Hochspannungssteuerung 8, und die Ausgangs-Datenleitung 25 mit einem Abstandsrechner 26 verbunden. Letzterer ist an ein Abstandsmeßgerät 27 über eine Meßdatenleitung 28 und an einen Speicher 29 mit Vorgabewerten über eine Datenleitung 30 gekoppelt. Über eine Ausgangs-Datenleitung 31 ist der Abstandsrechner 26 mit einem Not-Aus-Kreis 32 verbunden, der einen mechanisch bedienbaren Not-Aus-Schalter 33 aufweist.

**[0034]** Eine Steuerleitung 39 verbindet den Abstandsrechner 26 mit der Steuerleitung 12 zwischen dem Differenzspannungssteuerrechner 13 und der Nachführeinrichtung 10.

**[0035]** Über eine zweite Ausgangs-Datenleitung 34 ist der Abstandsrechner 26 mit einem Abstandskordinatenrechner 35 verbunden. Letzterer steht über eine bidirektionale Datenleitung 36 mit einem Koordinatensteuerrechner 37 in Verbindung. Dieser kann über eine bidirektionale Datenleitung 38 Koordinaten in einen Speicher 40 schreiben bzw. aus diesem auslesen.

**[0036]** Über eine weitere bidirektionale Datenleitung 41 ist der Koordinatensteuerrechner 37 mit der Nachführeinrichtung 10 gekoppelt.

**[0037]** Die Beschichtungsvorrichtung arbeitet beim Beschichten von Werkstücken folgendermaßen:

**[0038]** Gesteuert durch die Nachführeinrichtung 10, die die fünf Freiheitsgrade des Führungselements 9 separat ansteuern kann, folgt die Applikationseinrichtung 1 gemäß einem Nachführprogramm, das in der Nachführeinrichtung 10 implementiert ist, der Oberfläche des Werkstücks 3. Durch eine hier nicht interessierende Lageregelung wird dabei sichergestellt, daß die Längsachse der Applikationseinrichtung 1 senkrecht zur Oberfläche des Werkstücks 3, die beschichtet werden soll, ausgerichtet ist.

**[0039]** Das Nachführprogramm sorgt für die Beibehaltung eines bestimmten Abstandes zwischen der Applikationseinrichtung 1 und dem Werkstück 3, sofern nicht in unten beschriebener Weise zur Regelung des Betriebsstromes in anderer Weise in das Nachführprogramm eingegriffen wird.

**[0040]** Die Hochspannungsquelle 6 sorgt dafür, daß die Elektroden der Applikationseinrichtung 4 bezüglich des Werkstücks 3 auf Hochspannungspotential liegen. Das elektrisch geladene Beschichtungspulver 2 wird daher vom Werkstück 3 angezogen, wodurch letzteres beschichtet wird, ohne daß es zu einer nennenswerten Menge von nicht am Werkstück 3 haftenden Beschichtungspulver-Overspray kommt, das einem Recycling oder einer Entsorgung zugeführt werden müßte.

**[0041]** Zum Erzielen eines optimalen Beschichtungsergebnisses, z.B. optimaler Farb-, Brillanz-, Effekt- oder Glanzwirkung beim Beschichten mit einem Farblackpulver, werden der Betriebsstrom-Ist-Wert  $I_I$  und der Spannungs-Ist-Wert  $U_I$  mittels der Regeleinrichtung 11 auf ei-

nen vorgegebenen Wert innerhalb bestimmter Grenzen geregelt. Die Abfrage des Ist-Wertes dieser Parameter erfolgt in periodischen Zeitabständen. Der Teil des Beschichtungsvorganges, der zwischen zwei Abfragen abläuft, wird nachfolgend als "Beschichtungsschritt" bezeichnet.

**[0042]** Zu Beginn eines Beschichtungsschritts erfaßt der Differenzspannungssteuerrechner 13 der Regeleinrichtung 11 über das angekoppelte Strommeßgerät 15 den Betriebsstrom-Ist-Wert  $I_I$  und vergleicht diesen mit einem im Speicher 17 abgelegten Betriebsstrom-Soll-Wert  $I_S$ . Liegt der Betriebsstrom-Ist-Wert  $I_I$  innerhalb der Grenzwerte des Betriebsstrom-Toleranzbereichs, die durch ebenfalls im Speicher 17 abgelegte Minimal- bzw. Maximalwerte für den Betriebsstrom vorgegeben sind, unterbleibt ein Nachregeln und der Differenzspannungssteuerrechner 13 steuert über die Steuerleitung 12 die Nachführeinrichtung 10 an, die daraufhin gemäß dem Nachführprogramm den nächsten vorprogrammierten Bewegungsschritt des Führungsprogramms 9 veranlaßt, wobei der Abstand zwischen Applikationseinrichtung 1 und Werkstück 3 unverändert bleibt.

**[0043]** Liegt der Betriebsstrom-Ist-Wert  $I_I$  beim oben beschriebenen Vergleich des Differenzspannungssteuerrechners 13 außerhalb des vorgegebenen Toleranzbereichs, berechnet der Differenzspannungssteuerrechner 13 eine Differenzspannung  $dU$ , indem er die Differenz zwischen Betriebsstrom-Ist-Wert  $I_I$  und Betriebsstrom-Soll-Wert  $I_S$  bildet und diese mit einem ebenfalls im Speicher 17 abgelegten negativen Proportionalitätsfaktor  $c_1$  multipliziert. Diese Spannungsdifferenz  $dU$  gibt der Differenzspannungssteuerrechner 13 über die Datenleitung 18 an den Steuerrechner 19 weiter.

**[0044]** Ist der Betriebsstrom-Ist-Wert  $I_I$  beispielsweise zu groß, dann ist die berechnete Betriebsstromdifferenz positiv und es wird aufgrund des negativen Proportionalitätsfaktors  $c_1$  eine negative Differenzspannung  $dU$  durch den Differenzspannungssteuerrechner 13 berechnet und an den Steuerrechner 19 weitergegeben.

**[0045]** Der Steuerrechner 19 addiert die erhaltene Differenzspannung  $dU$  zum Spannungs-Ist-Wert  $U_I$ , den er vom Hochspannungsmeßgerät 21 abrufen, und berechnet so einen neuen Spannungswert  $U_N$ , der theoretisch in den zulässigen Bereich des Betriebsstrom-Ist-Wertes  $I_I$  zurückführt. Bei zu großem Entladungsstrom-Ist-Wert  $I_I$  (vgl. das obige Beispiel) ist der neue Spannungswert  $U_N$  geringer als der Spannungs-Ist-Wert  $U_I$ .

**[0046]** Liegt der neue errechnete Spannungswert  $U_N$  innerhalb der Grenzwerte des Spannungs-Toleranzbereichs, die durch ebenfalls im Speicher 23 abgelegte Minimal- bzw. Maximalwerte für die Hochspannung vorgegeben sind, gibt der Steuerrechner 19 den neuen Spannungswert  $U_N$  über die Datenleitung 24 an die Hochspannungssteuerung 8 weiter. Dieser stellt dann den Spannungs-Ist-Wert  $U_I$  auf den neuen Spannungswert  $U_N$ . Über die Datenleitungen 24, den Steuerrechner 19 sowie die Datenleitung 18 erhält der Differenzspannungssteuerrechner 13 vom Hochspannungssteuerung

8 ein O.K.-Signal über die durchgeführte Spannungsanpassung.

**[0047]** Der Differenzspannungssteuerrechner 13 nimmt dann bei der nächsten Abfrage wieder den schon oben beschriebenen Vergleich zwischen Betriebsstrom-Ist-Wert  $I_I$  und Betriebsstrom-Soll-Wert  $I_S$  vor.

**[0048]** Beim oben beschriebenen Beispiel hat die Verringerung der Hochspannung auf den neuen, geringeren Spannungswert  $U_N$  zu einer ausreichenden Abnahme des Betriebsstrom-Ist-Werts  $I_I$  in den zulässigen Spannungsbereich geführt. Ergibt der Vergleich im Steuerrechner 19 hingegen, daß der berechnete neue Spannungswert  $U_N$ , der zu einer ausreichenden Veränderung des Betriebsstrom-Ist-Wertes  $I_I$  führen würde, außerhalb des zulässigen Spannungsbereichs liegt, erfolgt die Regelung des Betriebsstrom-Ist-Werts  $I_I$  durch die Regeleinrichtung 11 nicht über ein Nachführen der Spannung  $U_I$ , sondern über ein Nachführen des Abstandes  $A_I$  zwischen Applikationseinrichtung 1 und Werkstück 3. Dadurch wird gewährleistet, daß der Spannungs-Ist-Wert  $U_I$  innerhalb des zulässigen Spannungsbereichs gehalten werden kann.

**[0049]** Alternativ kann zunächst auch eine Änderung der Spannung  $U_I$  durchgeführt werden, die bis an den Rand des zulässigen Spannungsbereiches führt. Die dann noch erforderliche weitere Veränderung des Betriebsstromes erfolgt über eine Veränderung des Abstandes  $A_I$  zwischen Applikationseinrichtung 1 und Werkstück 3.

**[0050]** Der Steuerrechner 19 gibt in diesem Fall über die Datenleitung 25 den Betriebsstrom-Ist-Wert  $I_I$  sowie den Betriebsstrom-Soll-Wert  $I_S$  an den Abstandsrechner 26 weiter. In letzterem erfolgt dann aus der Differenz zwischen Betriebsstrom-Ist-Wert  $I_I$  und Betriebsstrom-Soll-Wert  $I_S$ , die mit einem im Speicher 29 abgelegten positiven Proportionalitätsfaktor  $c_2$  multipliziert wird, die Berechnung einer Abstandsdifferenz  $dA$ . Durch Addition des Abstandsdifferenzwerts  $dA$  mit dem vom Abstandsmeßgerät 27 abgerufenen Abstands-Ist-Wert  $A_I$  berechnet der Abstandsrechner dann einen neuen Abstand  $A_N$ .

**[0051]** War bei Abwandlung des obigen Beispiels (Betriebsstrom-Ist-Wert  $I_I$  zu groß) der berechnete neue Spannungswert  $U_N$  außerhalb des Toleranzbereichs, ist der dann berechnete neue Abstand  $A_N$  größer als der Abstands-Ist-Wert  $A_I$ . Die Vorgabe einer größeren Abstands zwischen Applikationseinrichtung 1 und Werkstück 3 führt zu einem geringeren Betriebsstrom.

**[0052]** Ist der neue Abstandswert  $A_N$  geringer als ein im Speicher 29 abgelegter Minimalwert, betätigt der Abstandsrechner 26 über die Steuerleitung 31 den Not-Aus-Kreis 32, der die Beschichtungsvorrichtung deaktiviert.

**[0053]** Liegt der im Abstandsrechner 26 berechnete neue Abstandswert  $A_N$  innerhalb der Grenzwerte eines zulässigen Abstandsbereichs, die durch im Speicher 29 abgelegte Minimal- bzw. Maximalwerte für den Abstand vorgegeben sind, so übermittelt der Abstandsrechner

26 über die Datenleitung 34 den neuen Abstandswert  $A_N$  an den Abstandskordinatenrechner 35, der aus dem neuen Abstand  $A_N$  die einzustellende Koordinatenkorrektur für die Applikationseinrichtung 1 berechnet.

5 Diese Koordinatenkorrektur wird an den Koordinatensteuerrechner 37 über die Datenleitung 36 übertragen.

**[0054]** Aus den Koordinaten der Applikationseinrichtung 1, die aus dem Speicher 40 abgerufen werden und der Koordinatenkorrektur berechnet der Koordinatensteuerrechner 37 die neue Lage, die die Applikationseinrichtung 1 beim momentanen Beschichtungsschritt einnehmen soll, damit der Betriebsstrom  $I_I$  während dieses Beschichtungsschritts den vorgegebenen Betriebsstrom-Sollwert  $I_S$  erreicht.

10 **[0055]** Die durch den Koordinatensteuerrechner 37 neu berechneten Koordinaten werden über die Datenleitung 41 an die Nachführeinrichtung 10 zum Steuern eines entsprechenden Nachführschritts übertragen. Über die Steuerleitung 12 erhält der Differenzspannungssteuerrechner 13 ein O.K.-Signal über die erfolgte Abstands-Nachführung.

**[0056]** Der Differenzspannungssteuerrechner 13 nimmt dann bei der nächsten Abfrage den schon oben beschriebenen Vergleich zwischen Betriebsstrom-Ist-Wert  $I_I$  und Betriebsstrom-Soll-Wert  $I_S$  erneut vor.

15 **[0057]** Die aktuellen Betriebsparameter (Koordinaten, Betriebsstrom, Spannung) werden bei jedem Beschichtungsschritt im Speicher 40 abgelegt. Ist bei einem Beschichtungsschritt nicht, wie oben beschrieben, ein Nachführschritt erforderlich, so werden die aktuellen Koordinaten von der Nachführeinrichtung 10 über den Koordinatensteuerrechner sowie die aktuellen Betriebsstrom- und Spannungswerte im Speicher 40 gespeichert.

20 **[0058]** Nach einem ersten Beschichtungsdurchgang (Initialisierungs-Beschichtungsdurchgang) für ein Werkstück neuer Geometrie bzw. Orientierung zur Applikationseinrichtung 1 liegt somit ein kompletter Koordinatensatz für nachfolgende Beschichtungsdurchgänge mit Werkstücken gleicher Geometrie bzw. Orientierung zur Applikationseinrichtung 1 vor. Mit diesem Koordinatensatz wird nun das Nachführprogramm für die Nachführeinrichtung 10 modifiziert, so daß die zum Regeln des Betriebsstroms notwendigen Abstandsänderungen durch die Nachführschritte im Initialisierungs-Beschichtungsdurchgang beim Führen der Applikationseinrichtung 1 in den nachfolgenden Beschichtungsdurchgängen gleich mitberücksichtigt werden. Ähnliches gilt für die richtigen Spannungswerte.

25 **[0059]** Im Idealfall kann bei nun folgenden Beschichtungsdurchgängen mit dem gleichen Werkstück-Typ ein Nachregeln durch die Regeleinrichtung 11 komplett entfallen.

30 **[0060]** Sollte sich durch Bemessungstoleranzen am Werkstück 3, durch Toleranzen der Lage aufeinanderfolgender Werkstücke 3 relativ zur Beschichtungsvorrichtung oder durch Drifteffekte der Beschichtungsvorrichtung dennoch die Notwendigkeit zum Nachregeln

des Betriebsstroms  $I_1$  ergeben, werden die neuen Betriebsparameter, die aus den Regelvorgängen resultieren, zusätzlich in den Speicher 40 aufgenommen und in eine Änderung des Nachführprogramms für den Abstand  $A_1$  und in eine entsprechende Anpassung der Spannung  $U_1$  umgesetzt.

**[0061]** Diese neuen Betriebsparameter können im einfachsten Fall die entsprechenden alten Betriebsparameter überschreiben, so daß jeder neue Beschichtungsdurchgang für ein Werkstück den jeweils vorhergehenden als "Ausgangspunkt" für die "Feinregelung" aufweist. Ein derartiges Vorgehen ist insbesondere dann sinnvoll, wenn lediglich langsame Drifteffekte der Beschichtungsvorrichtung zu erwarten sind, die ein geringes Nachregeln des Abstandes in längeren Zeitabständen erfordern.

**[0062]** Erfolgen Drifteffekte jedoch auf einer kürzeren Zeitskala, können die neuen Betriebsparameter in separaten Speicherplätzen des Speichers 40 abgelegt werden. Durch Vergleich der Betriebsparameter bei einem bestimmten Beschichtungsschritt innerhalb des Beschichtungsdurchgangs können Rückschlüsse auf das zukünftige Driftverhalten gezogen werden. Der Speicher 40 kann dann mit dem Koordinatensteuerrechner 37 zur Berechnung von im nächsten Beschichtungsdurchgang zu erwartenden Koordinaten kommunizieren. Diese werden dann in entsprechende Änderungen im Nachführprogramm für den nächsten Beschichtungsdurchgang umgesetzt. Dadurch erfolgt quasi ein "Vorhalten" des Abstandes zwischen der Applikationseinrichtung 1 und dem Werkstück 3 sowie der Betriebsspannung und somit ein Driftausgleich, der die Häufigkeit und die Größe der Regeleingriffe reduziert.

**[0063]** Werden die Nachregelungen hauptsächlich durch Bemessungstoleranzen des Werkstücks verursacht, können Koordinatensteuerrechner 37 und Speicher 40 im Rahmen einer gegebenenfalls gewichteten Mittelwertbildung zusammenwirken, so daß Betriebsparameter gewonnen werden, die einem durchschnittlich bemessenen Werkstück entsprechen, wodurch wiederum die Anzahl der erforderlichen Regelschritte minimiert wird.

**[0064]** Der Absolutwert des Proportionalitätsfaktors  $c_2$  zur Berechnung der Abstandsänderung im Abstandsrechner 26 kann bei einer alternativen Ausführungsform der Beschichtungsvorrichtung so gewählt sein, daß durch die Abstandsänderung eine Überkompensation der Abweichung des Entladestrom-Ist-Werts  $I_1$  erfolgt. Im obigen Beispiel würde der Abstand  $A_1$  so vergrößert, daß daraus ein Betriebsstrom-Ist-Wert  $I_1$  resultieren würde, der kleiner wäre als der Betriebsstrom-Soll-Wert  $I_S$ . Damit dennoch der korrekte Betriebsstrom-Ist-Wert  $I_1$  erzielt wird, gibt der Abstandsrechner einen Spannungskorrekturwert  $U_K$ , der mittels eines dritten Proportionalitätsfaktors  $c_3$  und der Differenz zwischen dem Betriebsstrom-Ist-Wert  $I_1$  und dem Betriebsstrom-Soll-Wert  $I_S$  im Abstandsrechner 26 berechnet wurde, über eine Datenleitung 41 (in Fig. 2 strichpunktiert darge-

stellt) an die Hochspannungssteuerung 8 weiter.  $U_K$  ist dabei so gewählt, daß einerseits der Betriebsstrom den Betriebsstrom-Soll-Wert  $I_S$  erreicht und andererseits der durch die Hochspannungssteuerung eingestellte neue Spannungs-Ist-Wert  $U_1$  möglichst zentral innerhalb des zulässigen Spannungsbereichs liegt.

**[0065]** Eine derartige Korrektur der Hochspannung gewährleistet eine höhere Wahrscheinlichkeit, daß beim nachfolgenden Beschichtungsschritt die Regelung des Betriebsstroms über die zeitsparendere Spannungsnachführung erfolgen kann.

**[0066]** Enthält das zu beschichtende Werkstück 3 Fenster oder Vertiefungen, die bei der Beschichtung auszusparen sind, kann dies die Beschichtungsvorrichtung ebenfalls in einem "Initialisierungsdurchgang" an einem "Master"-Stück lernen. Innerhalb dieser Bereiche wird bei den darauffolgenden Beschichtungsvorgängen die Nachführung des Betriebsstromes  $I_1$  in einen zulässigen Bereich unterbrochen; ggfs. wird die gesamte Applikationseinrichtung 1 außer Betrieb genommen.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum elektrostatischen Beschichten eines Werkstücks mit einer Beschichtungsvorrichtung, welche umfaßt:

a) eine Applikationseinrichtung für elektrisch geladenes Beschichtungsmaterial;

b) eine Spannungsquelle, die eine Spannung zwischen der Applikationseinrichtung und dem Werkstück erzeugt;

c) eine mit der Spannungsquelle zusammenarbeitende, eine Spannungssteuerung umfassende Regeleinrichtung für den Betriebsstrom, welcher durch den Fluß des elektrisch geladenen Beschichtungsmaterials von der Applikationseinrichtung auf das Werkstück vorgegeben ist;

d) eine Nachführeinrichtung zum Erzeugen einer Relativbewegung zwischen dem Werkstück und der Applikationseinrichtung während des Beschichtens;

welches folgende Schritte umfaßt:

e) Erfassen eines Betriebsstrom-Ist-Werts  $I_1$ ;

f) Vergleichen des Betriebsstrom-Ist-Werts  $I_1$  mit einem vorgegebenen Betriebsstrom-Soll-Wert  $I_S$ ;

g) Regeln des Betriebsstroms auf den Betriebsstrom-Soll-Wert  $I_S$ ;

gekennzeichnet durch folgende Schritte:

h) Zunächst wird durch eine Veränderung der Spannung innerhalb vorgegebener Grenzen versucht, den Betriebsstrom-Ist-Wert  $I_I$  in einen zulässigen Regelbereich um den Betriebsstrom-Soll-Wert  $I_S$  zu bringen;

i) Wenn dies nicht ausreicht, wird der Abstand  $A_I$  zwischen Applikationseinrichtung (1) und Werkstück (3) so verändert, daß der Betriebsstrom-Ist-Wert  $I_I$  in den zulässigen Regelbereich um den Betriebsstrom-Soll-Wert  $I_S$  gebracht wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **gekennzeichnet durch** die periodische Wiederholung der folgenden Schritte:

a) Erfassen eines Spannungs-Ist-Werts  $U_I$ , der der Spannung zwischen der Applikationseinrichtung (1) und dem Werkstück (3) entspricht;

b) Berechnen eines neuen, zur Einstellung des Betriebsstroms in die vorgegebenen Grenzen theoretisch erforderlichen Spannungswerts  $U_N$  unter Berücksichtigung des Spannungs-Ist-Werts  $U_I$  und der Differenz zwischen Betriebsstrom-Ist-Wert  $I_I$  und Betriebsstrom-Soll-Wert  $I_S$ ;

c) Regeln des Betriebsstroms über eine Vorgabe des neuen Spannungswerts  $U_N$  für die Spannungssteuerung (8), falls der theoretische neue Spannungswert  $U_N$  innerhalb der vorgegebenen Grenzen für die Spannung liegt;

d) zumindest teilweises Regeln des Betriebsstroms über eine Änderung eines Abstands-Ist-Werts  $A_I$  zwischen der Applikationseinrichtung (1) und dem Werkstück (3) mittels der Nachführeinrichtung (10), falls der theoretische neue Spannungswert  $U_N$  nicht innerhalb vorgegebener Grenzen für die Spannung liegt.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

**dadurch gekennzeichnet, daß** dann, wenn der zuvor eingestellte Spannungswert nicht im mittleren Bereich zwischen den vorgegebenen Grenzen für die Spannung liegt und der nächste theoretische neue Spannungswert  $U_N$  nicht innerhalb der vorgegebenen Grenzen liegt, folgende Schritte durchgeführt werden:

a) Vorgeben eines neuen Spannungswerts  $U_N$  für die Spannungssteuerung (8), der im wesentlichen zentral innerhalb der vorgegebenen

Grenzen für die Spannung liegt;

b) Überkompensieren der Abweichung des Entladesstrom-Ist-Werts  $I_I$  vom Betriebsstrom-Soll-Wert  $I_S$  durch eine entsprechend große Änderung des Abstands  $A_I$ .

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** folgende Schritte:

a) Erfassen des Abstands-Ist-Werts  $A_I$  zwischen der Applikations-Einrichtung (1) und dem Werkstück (3);

b) Durchführen der Betriebsstrom-Regelung nur, falls der Abstands-Ist-Wert  $A_I$  innerhalb vorgegebener Grenzen für den Abstand liegt.

5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet,**

daß die Spannungsquelle (6) und die Applikations-einrichtung (1), vorzugsweise die gesamte Beschichtungsvorrichtung, deaktiviert werden, falls der Abstands-Ist-Wert  $A_I$  nicht innerhalb vorgegebener Grenzen für den Abstand liegt.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

**dadurch gekennzeichnet, daß** bei einem Initialisierungs-Beschichtungsdurchgang die Betriebsparameter der Beschichtungsvorrichtung erfaßt und in einem mit der Nachführeinrichtung (9, 10) zusammenarbeitenden Speicher (40) abgelegt werden, und daß bei Beschichtungsdurchgängen, die dem Initialisierungs-Beschichtungsdurchgang nachfolgen, die Applikationseinrichtung (1) gemäß den im Speicher (37) abgelegten Betriebsparametern nachgeführt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet,**

daß eine Betriebsparameteränderung im Rahmen der Betriebsstrom-Regelung, die während eines Beschichtungsdurchgangs erfolgt, der dem Initialisierungs-Beschichtungsdurchgang nachfolgt, erfaßt, im Speicher (40) abgespeichert und für den diesem Beschichtungsdurchgang nachfolgenden Beschichtungsdurchgang berücksichtigt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet,**

daß die Berücksichtigung erfolgt, indem beim Abspeichern der durch die im laufenden Beschichtungsdurchgang geänderten Betriebsparameter die diesen entsprechenden alten Betriebsparameter überschrieben werden.

9. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekenn-**

**zeichnet,**

daß die Berücksichtigung erfolgt, indem aus den im laufenden Beschichtungsdurchgang geänderten Betriebsparameter und den diesen entsprechenden alten Betriebsparameter ein Betriebsparameter für den folgenden Beschichtungsdurchgang berechnet und abgespeichert wird.

5

**10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet,**

10

daß die Berechnung durch gewichtete Mittelwertbildung erfolgt.

**11. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 10, welche umfaßt:**

15

a) eine Applikationseinrichtung für elektrisch geladenes Beschichtungsmaterial;

b) eine Spannungsquelle, die eine Spannung zwischen der Applikationseinrichtung und dem Werkstück erzeugt;

20

c) eine mit der Spannungsquelle zusammenarbeitende, eine Spannungssteuerung umfassende Regeleinrichtung für den Betriebsstrom, welcher durch den Fluß des elektrisch geladenen Beschichtungsmaterials von der Applikationseinrichtung auf das Werkstück vorgegeben ist;

25

30

d) eine Nachführeinrichtung zum Erzeugen einer Relativbewegung zwischen dem Werkstück und der Applikationseinrichtung während des Beschichtens;

35

**dadurch gekennzeichnet, daß**

e) die Nachführeinrichtung (10) mit der Regeleinrichtung (11) zusammenarbeitet und zur Veränderung des Abstands zwischen Applikationseinrichtung (1) und Werkstück (3) in Funktion gesetzt werden kann, wenn durch die Funktion der Spannungssteuerung (8) alleine der Betriebsstrom-Ist-Wert  $I_t$  nicht innerhalb der vorgegebenen Grenzen gehalten werden kann, ohne einen vorgegebenen Spannungsbereich zu verlassen.

40

45

50

55

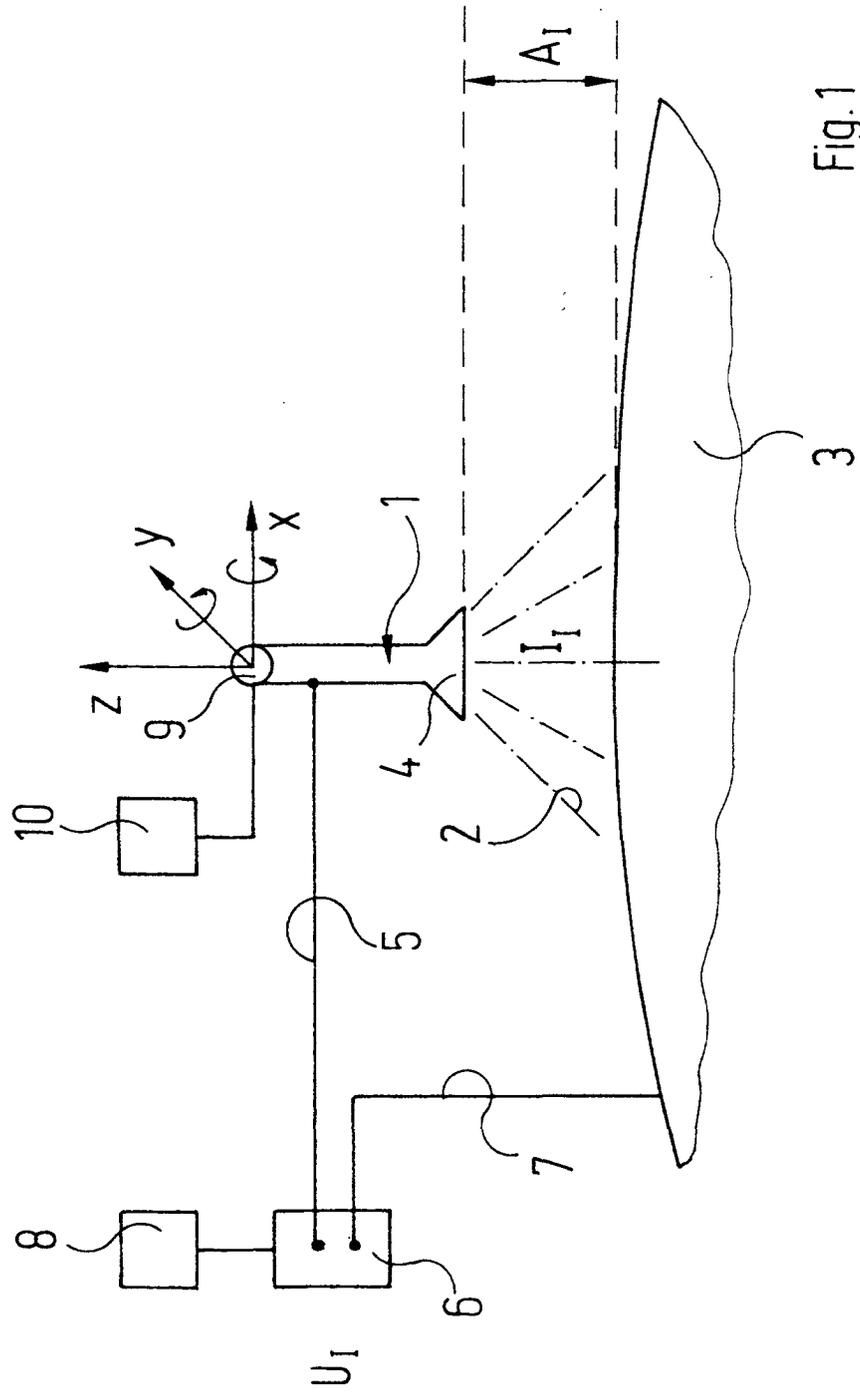


Fig.1

