



(10) DE 10 2014 207 579 B4 2022.08.11

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2014 207 579.3

(51) Int Cl.: **G09B 19/24 (2006.01)**

(22) Anmelddatag: 22.04.2014

**B23K 9/095 (2006.01)**

(43) Offenlegungstag: 23.10.2014

(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 11.08.2022

Innerhalb von neun 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. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:  
**A 50273/2013 22.04.2013 AT**

(72) Erfinder:  
**Kreindl, Josef, Buchkirchen, AT; Hummelbrunner, Andreas, Ried im Traunkreis, AT; Grubmair, Harald, Ried im Traunkreis, AT; Poellhuber, Wolfgang, Lambach, AT**

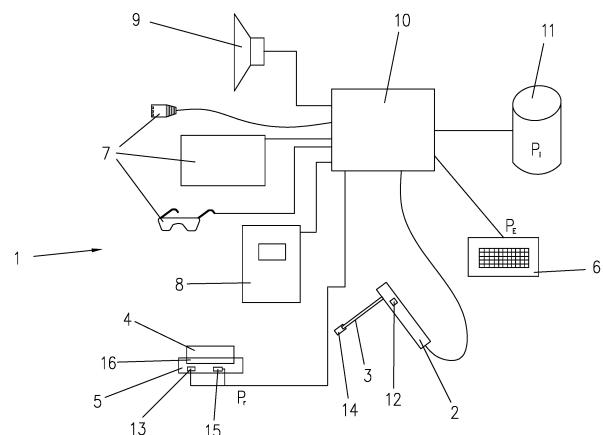
(73) Patentinhaber:  
**Fronius International GmbH, Pettenbach, AT**

(56) Ermittelter Stand der Technik:  
**US 2010 / 0 062 406 A1**

(74) Vertreter:  
**isarpatent - Patent- und Rechtsanwälte Barth  
Charles Hassa Peckmann & Partner mbB, 80801  
München, DE**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zum Simulieren eines Elektrodenschweißverfahrens**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Simulieren eines Elektrodenschweißverfahrens, mit einem Elektrodenhalter-Simulator (2) und daran angeordneter Elektrodennachbildung (3), einer Werkstücknachbildung (4), einer Eingabevorrichtung (6), einer Ausgabevorrichtung (7) und einer Steuereinrichtung (10), dadurch gekennzeichnet, dass ein Zündvorgang simuliert wird, indem Parameter ( $P_r$ ) während einer realen Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators (2) mit gespeicherten Parametern ( $P_i$ ) einer idealen Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators (2) während eines Zündvorgangs verglichen werden, und Abweichungen zwischen den Parametern ( $P_r$ ) der realen Bewegung und den Parametern ( $P_i$ ) der idealen Bewegung erfasst und angezeigt werden; wobei als Parameter ( $P_r$ ,  $P_i$ ) die Lage des Elektrodenhalter-Simulators (2) in Bezug auf die Werkstücknachbildung (4), die Geschwindigkeit der Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators (2) und ein Überstreichen eines Bereichs der Werkstücknachbildung (4) nach erfolgter Zündung verwendet werden.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Simulieren eines Elektrodenschweißverfahrens, mit einem Elektrodenhalter-Simulator und daran angeordneter Elektrodennachbildung, einer Werkstücknachbildung, einer Eingabevorrichtung, einer Ausgabevorrichtung und einer Steuereinrichtung.

**[0002]** Zum Erlernen von Schweißverfahren existieren zahlreiche Systeme, mit welchen Schweißvorgänge simuliert werden können. Dabei führt der auszubildende Schweißer mit einer Nachbildung eines Schweißbrenners oder einer Schweißelektrode virtuelle Schweißvorgänge aus, welche über einen Bildschirm, eine 3D-Brille oder eine Anzeige in einem Schweißhelm optisch und allenfalls auch akustisch über einen Lautsprecher beurteilt werden.

**[0003]** Beispielsweise beschreibt die WO 2010/ 000 003 A2 eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Simulation eines Schweißverfahrens mit einem Schweißdraht, beispielsweise eines MIG (Metall-Inertgas)- oder MAG (Metall-Aktivgas)-Schweißverfahrens.

**[0004]** Für Elektrodenschweißverfahren sind ebenfalls Lernsysteme bzw. Simulationssysteme bekannt. Beispielsweise beschreiben die US 4 689 021 A und die US 4 931 018 A Übungsgeräte für Elektrodenschweißverfahren, mit welchen die Handhabung der Elektrode während des Elektrodenschweißverfahrens trainiert werden kann.

**[0005]** Bekannte Verfahren und Vorrichtungen zum Simulieren von Elektrodenschweißverfahren bilden den Schweißvorgang häufig nur ungenügend nach, wodurch kein zufriedenstellender Lerneffekt resultiert. Insbesondere wird dem Erlernen des Zündvorgangs bei Elektrodenschweißverfahren keine oder nur unzureichende Beachtung geschenkt. Gerade die Zündung stellt beim Elektrodenschweißverfahren eine große Herausforderung dar, welche auch das Schweißergebnis stark beeinflusst.

**[0006]** In der US 2010/0 062 406 A1 sind ein System und ein Verfahren zum Trainieren von Lichtbogenschweißen unter Verwendung einer Echtzeit-Schmelzbad-Rückkopplung beschrieben, wobei jedoch keine Berücksichtigung eines Zündungsvorgangs erfolgt.

**[0007]** Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht daher in der Schaffung eines oben genannten Verfahrens und einer oben genannten Vorrichtung zum Simulieren eines Elektrodenschweißverfahrens, mit welchen ein optimales Training auch des Zündvorgangs möglichst unter realen Bedingungen durchgeführt werden kann. Das Verfahren soll möglichst einfach durchführbar und die Vorrichtung

möglichst kostengünstig und robust aufgebaut sein. Nachteile bekannter Verfahren und Vorrichtungen zum Simulieren von Elektrodenschweißvorgängen sollen vermieden oder zumindest reduziert werden.

**[0008]** Gelöst wird die erfindungsgemäße Aufgabe durch ein oben genanntes Verfahren, bei dem ein Zündvorgang simuliert wird, indem Parameter während einer realen Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators mit gespeicherten Parametern einer idealen Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators während eines Zündvorgangs verglichen werden, und Abweichungen zwischen den Parametern der realen Bewegung und den Parametern der idealen Bewegung erfasst und angezeigt werden. Das Verfahren zeichnet sich also dadurch aus, dass ein idealer Zündvorgang hinterlegt wird und der reale Zündvorgang mit diesem idealen Zündvorgang verglichen und zur Beurteilung der Qualität des simulierten Zündvorgangs herangezogen wird. Der ideale Zündvorgang wird durch bestimmte Parameter charakterisiert, welche im System hinterlegt und gespeichert sind. Das Verfahren ermöglicht das Erlernen des Zündvorgangs von Elektrodenschweißverfahren unter virtuellen Bedingungen, ohne dass Elektroden und Werkstücke verbraucht werden müssen. Der Zündvorgang eines Elektrodenschweißverfahrens ist durch einen bestimmten Bewegungsablauf der Elektrode über die Werkstückoberfläche in einer streichenden und fließenden Bewegung, dem Abheben der Elektrode von der Werkstückoberfläche und dem Überschweißen der Zündstelle charakterisiert. Je nachdem wie genau ein idealer Zündvorgang charakterisiert wird, werden mehr oder weniger Parameter zur Festlegung der idealen Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators während des Zündvorgangs notwendig sein.

**[0009]** Zur Erfassung der Parameter der realen Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators über die Werkstücknachbildung sind entsprechend der verwendeten Parameter entsprechende Sensoren am Elektrodenhalter-Simulator der Elektrodennachbildung und der Werkstücknachbildung erforderlich, welche mit der Steuereinrichtung der Simulationsvorrichtung verbunden sind. Die Werkstücknachbildung kann auch durch ein reales Werkstück gebildet sein, welches beispielsweise in einen zugehörigen Werkstückhalter eingebracht werden kann, in welchem ein geeigneter Sensor vorgesehen ist, über welchen die Lage des Elektrodenhalter-Simulators gegenüber dem Werkstück oder der Werkstücknachbildung erfasst werden kann. Über die Lage des Elektrodenhalter-Simulators gegenüber dem Werkstück, der Werkstücknachbildung bzw. einem Werkstückhalter können die wesentlichsten Parameter während der Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators während des Zündvorgangs erfasst und somit der simulierte Zündvorgang beurteilt werden. Die Anzeige der Abweichungen zwischen den Parametern der realen

Bewegung und den Parametern der idealen Bewegung kann optisch, akustisch oder auch mechanisch, beispielsweise durch Vibration, oder durch Kombinationen davon erfolgen.

**[0010]** Als Parameter zur Kennzeichnung der Bewegung während eines Zündvorgangs werden die Lage des Elektrodenhalter-Simulators in Bezug auf die Werkstücknachbildung, die Geschwindigkeit der Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators und ein Überstreichen des Bereichs der Werkstücknachbildung nach erfolgter Zündung verwendet. Durch diese Parameter kann ein simulierter Zündvorgang bei einem Elektrodenschweißverfahren sehr gut charakterisiert und können somit Abweichungen eines realen Zündvorgangs von einem idealen Zündvorgang sehr gut beurteilt werden. Die Lage und die Geschwindigkeit der Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators kann beispielsweise über einen sogenannten Polhemus-Sensor oder auch durch andere Technologien, beispielsweise optisch, ermittelt werden.

**[0011]** Zum Erlernen eines Zündvorgangs ist es von Vorteil, wenn die ideale Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators während des Zündvorgangs angezeigt wird. Dabei kann die ideale Bewegung als sogenannter „Ghost“ optisch an einem Bildschirm oder der 3D-Brille im Schweißhelm wiedergegeben werden. Der Schweißer versucht, dem „Ghost“ möglichst exakt zu folgen und lernt auf diese Weise auf optimale Weise die Bewegung eines idealen Zündvorgangs. Der „Ghost“ zur Veranschaulichung der idealen Bewegung während des Zündvorgangs kann beispielsweise in halbtransparenter oder verschwommener Weise erfolgen, wohingegen die reale Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators während des Zündvorgangs in durchgezogener Darstellung des Elektrodenhalter-Simulators auf einem Bildschirm oder dergleichen erfolgen kann.

**[0012]** Der Start der Anzeige der idealen Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators während des Zündvorgangs wird vorzugsweise angekündigt, beispielsweise mit Hilfe eines optisch und/oder akustisch wiedergegebenen Countdowns, sodass sich der Schweißer auf die bevorstehende Übung entsprechend einstellen kann.

**[0013]** Wenn die Verweildauer und allenfalls Kraft einer Berührung der Elektrodennachbildung auf der Werkstücknachbildung gemessen wird, kann die Simulation noch besser beurteilt werden. Die Verweildauer der Elektrodennachbildung auf der Werkstücknachbildung kann beispielsweise durch Erkennung eines Kurzschlusses zwischen Elektrodennachbildung und Werkstücknachbildung in einfacher Weise gemessen werden. Alternativ dazu kann dies auch mit einem mechanischen Taster an der Spitze der Elektrodennachbildung gesche-

hen. Zur quantitativen Erfassung der Anpresskraft der Elektrodennachbildung auf der Oberfläche des Werkstücks bzw. der Werkstücknachbildung können verschiedene mechanische oder elektromechanische Sensoren aber auch optische Systeme, welche an der Spitze der Elektrodennachbildung angeordnet sind, eingesetzt werden. Beim Üben des Zündvorgangs in einem virtuellen Raum kann die Verweildauer und virtuelle Anpresskraft der Elektrodennachbildung auf einem nicht realen Werkstück auch über die Position erfasst werden.

**[0014]** Um den Simulationsvorgang noch besser an reale Bedingungen anpassen zu können, kann ein Festkleben der Elektrodennachbildung auf der Werkstücknachbildung, beispielsweise durch Aktivierung eines Elektromagneten durch die Steuereinrichtung, simuliert werden, wenn die gemessene Verweildauer und allenfalls die gemessene Kraft von vorgegebenen Grenzwerten abweicht. Im Falle einer Simulation des Zündvorgangs mit einer Elektrodennachbildung auf einer Werkstücknachbildung wird ein Festkleben dann simuliert werden, wenn Grenzwerte für die Verweildauer und allenfalls die Anpresskraft überschritten werden. Verweilt der Schweißer mit der Elektrodennachbildung zu lange auf der Werkstücknachbildung und bzw. oder wird die Elektrodennachbildung zu stark auf die Werkstücknachbildung gedrückt, kann der Elektromagnet aktiviert und ein Festkleben simuliert werden. Das Festkleben kann durch Überwinden der Kraft des Elektromagneten gelöst werden oder die Steuereinrichtung löst die festgeklebte Elektrodennachbildung und deaktiviert den Elektromagnet automatisch nach einer vorgegebenen Zeit. Bei einer Bewegung der Elektrodennachbildung im virtuellen Raum kann auch eine Unterschreitung eines Grenzwerts für die Verweildauer und allenfalls Kraft ausschlaggebend sein. Sofern die Möglichkeit der Aktivierung und Deaktivierung einer sogenannten Antistick-Funktion an der Simulationsvorrichtung besteht, kann dies einen Einfluss auf die Simulation des Festklebens bewirken.

**[0015]** Vorteilhafterweise werden die Zündvorgänge solange wiederholt, bis die Abweichungen einer vorgegebenen Anzahl an realen Bewegungen des Elektrodenhalter-Simulators von der idealen Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators während eines Zündvorgangs innerhalb eines vorgegebenen Toleranzbereichs liegen. Auf diese Weise kann der auszubildende Schweißer so lange mit der Wiederholung der Übung von Zündvorgängen betraut werden bis seine Fähigkeiten einen voreingestellten Wert übersteigen. Erst danach kann beispielsweise mit anderen Simulationsvorgängen fortgefahrt werden.

**[0016]** Wenn die gespeicherten Parameter einer idealen Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators durch Veränderung von Einflussparametern an der

Eingabevorrichtung verändert werden, können verschiedene in der Realität bei Zündverfahren von Elektrodenschweißverfahren auftretende Szenarien optimal geübt werden. Derartige Einflussparameter können beispielsweise die Aktivierung einer Antistick-Funktion, die Aktivierung eines Hotstarts, die Aktivierung einer Schweißspannungsreduktion, die Art und Länge der Elektrodennachbildung, etc. sein. Ist beispielsweise eine Antistick-Funktion an der Simulationsvorrichtung aktiviert, so wird bei einem Festkleben der Elektrodennachbildung an der Werkstücknachbildung diese rascher freigegeben als wenn die Antistick-Funktion nicht aktiviert ist. Beim Aktivieren eines sogenannten Hotstarts kann eine Vorwärmung der Elektrode simuliert werden. Mit der Aktivierung einer Schweißspannungsreduktion kann ein Schweißverfahren in Minen, wo eine Spannungsreduktion vorgeschrieben sein kann (VRD Voltage Reduction Device), simuliert und die Zündung unter dieser veränderten Situation geübt werden. Auch die Art, die Länge, die Ummantelung der Elektrodennachbildung und dergleichen, können die gespeicherten Parameter für die ideale Bewegung während des Zündvorgangs beeinflussen und verändern und den Simulationsvorgang unter geänderten Bedingungen ermöglichen. In der Praxis wird eine Vielzahl an gespeicherten Parametern zur Charakterisierung verschiedener Zündvorgänge hinterlegt sein und durch die entsprechenden Einflussparameter jene Parameter ausgewählt werden, welche die Basis für den Vergleich der realen Bewegung mit der idealen Bewegung während des Zündvorgangs bilden.

**[0017]** Wenn während der realen Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators während eines Zündvorgangs ein akustisches Signal eines Zündvorgangs wiedergegeben wird, kann der Simulationsvorgang noch besser an reale Bedingungen angepasst werden. Das akustische Signal kann eine Tonaufnahme eines realen Zündverfahrens oder auch ein synthetisch erzeugtes Signal, welches einem Zündvorgang nahekommt, sein.

**[0018]** Vorzugsweise wird die Lage des Elektrodenhalter-Simulators in Bezug auf die Werkstücknachbildung vor dem Simulieren des Zündvorgangs kalibriert. Sofern die Sensoren zur Messung der Lage des Elektrodenhalter-Simulators im Bezug auf die Werkstücknachbildung nicht die absolute Lage erfassen können, kann eine solche Kalibrierung erforderlich sein, welche beispielsweise durch Ausführen einer vorgegebenen Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators durchgeführt werden kann.

**[0019]** Gelöst wird die erfindungsgemäße Aufgabe auch durch eine oben genannte Vorrichtung zum Simulieren eines Elektrodenschweißverfahrens, bei der die Steuereinrichtung mit einem Speicher zum Speichern von Parametern einer idealen Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators während eines

Zündvorgangs verbunden ist und dazu ausgebildet ist, die Parameter während einer realen Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators zu erfassen und mit den gespeicherten Parametern der idealen Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators während eines Zündvorgangs zu vergleichen und die Abweichungen zwischen den Parametern der realen Bewegung und den Parametern der idealen Bewegung an der Ausgabevorrichtung anzuzeigen. Eine derartige Vorrichtung kann relativ einfach und kostengünstig realisiert werden. Zu den dadurch erzielbaren Vorteilen wird auf die obige Behandlung des Verfahrens zur Simulation des Elektrodenschweißverfahrens verwiesen.

**[0020]** Der Speicher ist zum Speichern der Lage des Elektrodenhalter-Simulators in Bezug auf die Werkstücknachbildung, der Geschwindigkeit der Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators und des Überstreichens des Bereichs der Werkstücknachbildung nach erfolgter Zündung als Parameter ausgebildet.

**[0021]** Die Ausgabevorrichtung ist vorzugsweise zur Anzeige der idealen Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators während des Zündvorgangs ausgebildet. Die Ausgabevorrichtung kann durch einen Bildschirm, eine 3D-Brille, eine Anzeige in einem Schweißhelm oder auch durch eine Schnittstelle zum Exportieren der Daten beispielsweise an ein externes Netzwerk gebildet sein.

**[0022]** Die Ausgabevorrichtung ist vorzugsweise zur Ankündigung des Starts der Anzeige der idealen Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators während des Zündvorgangs ausgebildet, was beispielsweise durch optische und/oder akustische Wiedergabe eines Countdowns erfolgen kann.

**[0023]** Wenn ein Kraftsensor zur Erfassung der Kraft einer Berührung der Elektrodennachbildung auf der Werkstücknachbildung vorgesehen ist, welcher Kraftsensor mit der Steuereinrichtung verbunden ist, kann der durchgeführte Zündvorgang noch besser beurteilt werden.

**[0024]** Mittels eines Elektromagneten kann ein Festkleben der Elektrodennachbildung auf der Werkstücknachbildung simuliert werden, wenn die Verweildauer der Elektrodennachbildung auf der Werkstücknachbildung oder die Anpresskraft der Elektrodennachbildung von bestimmten Grenzwerten abweicht. Zum Zweck der entsprechenden Steuerung ist der Elektromagnet mit der Steuereinrichtung verbunden.

**[0025]** Wenn die Eingabevorrichtung zur Eingabe von Einflussparametern, beispielsweise die Aktivierung einer Antistick-Funktion, die Aktivierung eines Hotstarts, die Aktivierung einer Schweißspannungsreduktion, die Art und Länge der Elektrodennachbil-

dung, etc., ausgebildet ist, und die Eingabevorrichtung mit der Steuereinrichtung verbunden ist, können die gespeicherten Parameter der idealen Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators durch die Einflussparameter verändert und verschiedene Arten von Zündverfahren geübt werden. Die Eingabevorrichtung kann in Art einer Stromquelle eines realen Schweißgeräts oder durch entsprechende Bedienelemente an der Simulationsvorrichtung gebildet sein.

**[0026]** Wenn ein Lautsprecher zur akustischen Wiedergabe eines Signals eines Zündvorgangs während der realen Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators während eines Zündvorgangs vorgesehen ist, kann der virtuelle Zündvorgang noch besser an reale Bedingungen angepasst werden.

**[0027]** Vorzugsweise ist zumindest ein Sensor zur Messung der Lage des Elektrodenhalter-Simulators in Bezug auf die Werkstücknachbildung oder einen Werkstückhalter für die Aufnahme der Werkstückhalterung vorgesehen, welcher zumindest eine Sensor mit der Steuereinrichtung verbunden ist. Je nach Art, Anzahl und Anordnung derartiger Sensoren kann eine Kalibrierung der Lage des Elektrodenhalter-Simulators in Bezug auf die Werkstücknachbildung erforderlich sein oder nicht. Wie bereits oben erwähnt kann die Lage beispielsweise mit einem sogenannten Polhemus-Sensor ermittelt werden.

**[0028]** Im Falle einer notwendigen Kalibrierung ist die Steuereinrichtung zur Kalibrierung der Lage des Elektrodenhalter-Simulators in Bezug auf die Werkstücknachbildung vor dem Simulieren des Zündvorgangs ausgebildet.

**[0029]** Die vorliegende Erfindung wird anhand der beigefügten Zeichnungen, welche Ausführungsbeispiele der Erfindung zeigen, näher erläutert. Darin zeigen

**Fig. 1** ein Blockschaltbild einer Vorrichtung zum Simulieren eines Elektrodenschweißverfahrens;

**Fig. 2** schematisch die ideale Bewegung einer Elektrode während eines optimalen Zündvorgangs bei einem Elektrodenschweißverfahren;

**Fig. 3** schematisch die reale Bewegung einer Elektrode während eines Zündvorgangs bei einem Elektrodenschweißverfahren und den Vergleich mit einer gespeicherten idealen Bewegung;

**Fig. 4** ein Schema für die Referenzierungsphase für die automatische Wiedergabe eines idealen Zündvorgangs; und

**Fig. 5** eine Ausführungsform eines Elektrodenhalter-Simulators und daran angeordneter Elektrodennachbildung und einer Werkstücknachbildung.

**[0030]** **Fig. 1** zeigt ein Blockschaltbild einer Vorrichtung 1 zum Simulieren eines Elektrodenschweißverfahrens. Die Vorrichtung 1 beinhaltet einen Elektrodenhalter-Simulator 2 und eine daran angeordnete Elektrodennachbildung 3, eine Werkstücknachbildung 4, welche auch durch ein reales Werkstück, welches in einem entsprechenden Werkstückhalter 5 angeordnet ist, gebildet sein kann. Über eine Eingabevorrichtung 6 kann der auszubildende Schweißer die Simulationsvorrichtung 1 bedienen. Über eine Ausgabevorrichtung 7, welche durch einen Bildschirm, eine 3D-Brille, eine Schnittstelle (beispielsweise zu einem externen Netzwerk) aber auch durch einen Schweißhelm 8 mit integrierter Anzeige gebildet sein kann, werden dem Schweißer Rückmeldungen über die simulierten Zündvorgänge gegeben. Eine Steuereinrichtung 10 verarbeitet die entsprechenden Signale und lässt die entsprechenden Simulationsverfahren ablaufen. Zur akustischen Wiedergabe von Signalen oder auch der Nachbildung realer Geräusche während des Schweißverfahrens kann ein Lautsprecher 9 vorgesehen sein. Die Steuereinrichtung 10 ist mit einem Speicher 11 zum Speichern von Parametern  $P_i$  einer idealen Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators 2 während eines Zündvorgangs verbunden und dazu ausgebildet, die Parameter  $P_r$  während einer realen Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators 2 zu erfassen und mit den gespeicherten Parametern  $P_i$  der idealen Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators 2 während eines Zündvorgangs zu vergleichen und die Abweichungen zwischen den Parametern  $P_r$  der realen Bewegung und den Parametern  $P_i$  der idealen Bewegung anzuzeigen. Im Speicher 11 sind also eine Reihe von Parametern  $P_i$ , welche eine ideale Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators 2 während eines Zündvorgangs eines Elektrodenschweißverfahrens charakterisieren, hinterlegt. In der Praxis werden die Steuereinrichtung 10, der Speicher 11, die Eingabevorrichtung 6, die Ausgabevorrichtung 7 und der Lautsprecher 9 durch einen Computer gebildet sein, an welchem die weiteren Komponenten über geeignete Schnittstellen (nicht dargestellt) angeschlossen werden.

**[0031]** Zur Erfassung der Parametern  $P_r$  während der realen Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators 2 sind entsprechende Sensoren an der Werkstücknachbildung 4 oder dem Werkstückhalter 5 und bzw. oder dem Elektrodenhalter-Simulator 2 angeordnet. Beispielsweise kann im Elektrodenhalter-Simulator 2 ein Lagesensor 12 und in der Werkstücknachbildung 4 oder im Werkstückhalter 5 ein Lagesensor 13 angeordnet sein, welche die Lage des Elektrodenhalter-Simulators 2 im Bezug auf die Werkstücknachbildung 4 ermitteln. Über einen Kraftsensor 14 an der Spitze der Elektrodennachbildung 3 kann die Anpresskraft der Elektrodennachbildung 3 an der Werkstücknachbildung 4 ermittelt und in die Simulation einbezogen werden. Beispielsweise

kann bei Überschreitung einer vorgegebenen Anpresskraft ein Elektromagnet 15 im Werkstückhalter 5 aktiviert und so ein Festkleben der Elektroden nachbildung 3 an der Werkstücknachbildung 4 simuliert werden. Anstelle einer elektronischen Realisierung des Festklebens kann an der Werkstücknachbildung 4 auch ein Klettverschluss 16 oder dergleichen angeordnet sein und die Spitze der Elektroden nachbildung 3 entsprechend ausgebildet sein (nicht dargestellt) und auf diese Weise bei Überschreitung einer bestimmten Anpresskraft ein Festkleben der Elektroden nachbildung 3 an der Werkstücknachbildung 4 simuliert werden. Im Falle eines Festklebens der Elektroden nachbildung 3 kann an der Ausgabevorrichtung 7 das Festkleben veranschaulicht werden, beispielsweise durch ein Glühen der Elektroden nachbildung 3 wie es in der Realität auftreten würde.

**[0032]** In **Fig. 2** ist schematisch die ideale Bewegung einer Elektrode während eines optimalen Zündvorgangs bei einem Elektrodenschweißverfahren wiedergegeben. Dabei ist der Verlauf I durch den Abstand  $y$  von der Oberfläche des Werkstücks über die Distanz  $x$  aufgetragen. Nach einem Annähern der Elektrode in Richtung Werkstück, wird die Elektrode in einem spitzen Winkel zur Normalen auf die Werkstückoberfläche angesetzt. In dieser Lage wird die Elektrode bis zu einer bestimmten Distanz über der Werkstückoberfläche angenähert, wobei die Geschwindigkeit im Toleranzbereich eines vorgegebenen Werts liegen sollte. Danach folgt ein langsames Anfahren an die Werkstückoberfläche mit verzögerter Geschwindigkeit und schließlich ein Berühren des Werkstücks mit der Elektrode, wobei eine gewisse Verweildauer eingehalten werden sollte. Ab dem Startpunkt  $x_0$  wird die Elektrode an der Werkstückoberfläche auf einer vorgegebenen Länge bis zur Stelle  $x_1$  mit einer vorgegebenen Geschwindigkeit gestrichen und danach, nach der Stelle  $x_1$  von der Werkstückoberfläche auf eine bestimmte Höhe mit einer bestimmten Geschwindigkeit abgehoben. Nach dem Abheben der Elektrode von der Werkstückoberfläche und der Bildung des Lichtbogens wird der Zündbereich überstrichen, d.h. eine Schleife zurück an die Ausgangsposition  $x_0$  der Zündung mit einer für das Überstreichen charakteristischen Geschwindigkeit durchgeführt. Danach folgt ein nochmaliges Streichen mit der Elektrode über die Werkstückoberfläche auf eine vorgegebene Länge mit einer vorgegebenen Geschwindigkeit. Durch Abheben der Elektrode von der Werkstückoberfläche auf eine bestimmte Höhe wird der Zündvorgang beendet und mit einem normalen Schweißvorgang fortgesetzt.

**[0033]** **Fig. 3** zeigt schematisch die reale Bewegung einer Elektrode während eines Zündvorgangs bei einem Elektrodenschweißverfahren und den Vergleich mit einer gespeicherten idealen Bewegung

gemäß dem erfindungsgemäßen Simulationsverfahren. Dabei wird der in **Fig. 2** dargestellte ideale Zündvorgang I einem realen Zündvorgang II gegenübergestellt, welche bei der Simulation des Zündvorgangs verglichen und ausgewertet werden. Oberhalb und unterhalb des idealen Zündvorgangs I können Toleranzbereiche bzw. Grenzen III, IV definiert werden, welche beim realen Zündvorgang II nicht überschritten werden sollten. Erst nach einer vorgegebener Anzahl positiv absolviert simulierter Zündvorgänge, beispielsweise sieben von zehn Vorgängen, kann mit einer anderen Schweißübung fortgesetzt werden.

**[0034]** **Fig. 4** zeigt ein Schema für die Referenzierungsphase für die automatische Wiedergabe eines idealen Zündvorgangs, wobei in einem bestimmten Abstand  $y'$  vom Werkstück 4 eine Referenzierungsphase für den Start des idealen Zündvorgangs aktiviert wird. Sobald die Elektroden nachbildung 3 eine bestimmte Distanz  $y'$  von der Oberfläche des Werkstücks 4 bzw. der Werkstücknachbildung erreicht, beginnt automatisch die Startphase für die ideale Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators 2 während eines Zündvorgangs und beispielsweise nach einem Countdown der Start dieses sogenannten „Ghosts“. Der Schweißer muss nun mit dem Elektrodenhalter-Simulator 2 die ideale Bewegung durch den „Ghost“ nachvollziehen, ohne die in **Fig. 3** beschriebenen Toleranzgrenzen III, IV zu überschreiten.

**[0035]** Schließlich zeigt **Fig. 5** eine Ausführungsform eines Elektrodenhalter-Simulators 2 und daran angeordneter Elektroden nachbildung 3 und einer Werkstücknachbildung 4. Der Elektrodenhalter-Simulator 2 ist über eine entsprechende Leitung 17 mit der Steuereinrichtung 10 (siehe **Fig. 1**) verbunden. An der Spitze der Elektroden nachbildung 3 kann ein Kraftsensor 14 zur Messung der Anpresskraft der Elektroden nachbildung 3 an der Werkstücknachbildung 4 angeordnet sein. Zusätzlich kann die Elektroden nachbildung 3 in ihrer Länge veränderbar angeordnet sein, um einen Abbrand der Elektroden nachbildung 3 durch Verringerung der Länge der Elektroden nachbildung 3 simulieren zu können. Dies kann beispielsweise durch eine Verringerung der Distanz des freien Endes der Elektroden nachbildung 3 vom Elektrodenhalter-Simulator 2 realisiert werden.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Simulieren eines Elektrodenschweißverfahrens, mit einem Elektrodenhalter-Simulator (2) und daran angeordneter Elektroden nachbildung (3), einer Werkstücknachbildung (4), einer Eingabevorrichtung (6), einer Ausgabevorrichtung (7) und einer Steuereinrichtung (10), **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Zündvorgang simuliert

wird, indem Parameter ( $P_r$ ) während einer realen Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators (2) mit gespeicherten Parametern ( $P_i$ ) einer idealen Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators (2) während eines Zündvorgangs verglichen werden, und Abweichungen zwischen den Parametern ( $P_r$ ) der realen Bewegung und den Parametern ( $P_i$ ) der idealen Bewegung erfasst und angezeigt werden; wobei als Parameter ( $P_r, P_i$ ) die Lage des Elektrodenhalter-Simulators (2) in Bezug auf die Werkstücknachbildung (4), die Geschwindigkeit der Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators (2) und ein Überstreichen eines Bereichs der Werkstücknachbildung (4) nach erfolgter Zündung verwendet werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die ideale Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators (2) während des Zündvorgangs angezeigt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Start der Anzeige der idealen Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators (2) während des Zündvorgangs angekündigt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verweildauer und allenfalls Kraft einer Berührung der Elektrodennachbildung (3) auf der Werkstücknachbildung (4) gemessen wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Festkleben der Elektrodennachbildung (3) auf der Werkstücknachbildung (4), beispielsweise durch Aktivierung eines Elektromagneten (15) durch die Steuereinrichtung (10), simuliert wird, wenn die gemessene Verweildauer und allenfalls die gemessene Kraft von vorgegebenen Grenzwerten abweicht.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zündvorgänge solange wiederholt werden, bis die Abweichungen einer vorgegebenen Anzahl an realen Bewegungen des Elektrodenhalter-Simulators (2) von der idealen Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators (2) während eines Zündvorgangs innerhalb eines vorgegebenen Toleranzbereichs liegen.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die gespeicherten Parameter ( $P_i$ ) einer idealen Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators (2) durch Veränderung von Einflussparametern ( $P_E$ ), beispielsweise die Aktivierung einer Antistick-Funktion, die Aktivierung eines Hotstarts, die Aktivierung einer Schweißspannungsreduktion, die Art und Länge der Elektrodennachbildung (3), etc., an der Eingabevorrichtung (6) verändert werden.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass während der realen Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators (2) während eines Zündvorgangs ein akustisches Signal eines Zündvorgangs wiedergegeben wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Lage des Elektrodenhalter-Simulators (2) in Bezug auf die Werkstücknachbildung (4) vor dem Simulieren des Zündvorgangs kalibriert wird.

10. Vorrichtung (1) zum Simulieren eines ElektrodenSchweißverfahrens, mit einem Elektrodenhalter-Simulator (2) und daran angeordneter Elektrodennachbildung (3), einer Werkstücknachbildung (4), einer Eingabevorrichtung (6), einer Ausgabevorrichtung (7) und einer Steuereinrichtung (10), **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuereinrichtung (10) mit einem Speicher (11) zum Speichern von Parametern ( $P_i$ ) einer idealen Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators (2) während eines Zündvorgangs verbunden ist und dazu ausgebildet ist, die Parameter ( $P_r$ ) während einer realen Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators (2) zu erfassen und mit den gespeicherten Parametern ( $P_i$ ) der idealen Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators während eines Zündvorgangs zu vergleichen und die Abweichungen zwischen den Parametern ( $P_r$ ) der realen Bewegung und den Parametern ( $P_i$ ) der idealen Bewegung an der Ausgabevorrichtung (7) anzuzeigen; wobei der Speicher (11) zum Speichern der Lage des Elektrodenhalter-Simulators (2) in Bezug auf die Werkstücknachbildung (4), der Geschwindigkeit der Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators (2) und des Überstreichen eines Bereichs der Werkstücknachbildung (4) nach erfolgter Zündung als Parameter ( $P_r, P_i$ ) ausgebildet ist.

11. Vorrichtung (1) nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ausgabevorrichtung (7) zur Anzeige der idealen Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators (2) während des Zündvorgangs ausgebildet ist.

12. Vorrichtung (1) nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ausgabevorrichtung (7) zur Ankündigung des Starts der Anzeige der idealen Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators (2) während des Zündvorgangs ausgebildet ist.

13. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Kraftsensor (14) zur Erfassung der Kraft einer Berührung der Elektrodennachbildung (3) auf der Werkstücknachbildung (4) vorgesehen ist, welcher Kraftsensor (14) mit der Steuereinrichtung (10) verbunden ist.

14. Vorrichtung (1) nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Elektromagnet (15) zur Simulation eines Festklebens der Elektrodennachbildung (3) auf der Werkstücknachbildung (4) vorgesehen ist, welcher Elektromagnet (15) mit der Steuereinrichtung (10) verbunden ist.

15. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 10 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Eingabevorrichtung (6) zur Eingabe von Einflussparametern ( $P_E$ ), beispielsweise die Aktivierung einer Antistick-Funktion, die Aktivierung eines Hotstarts, die Aktivierung einer Schweißspannungsreduktion, die Art und Länge der Elektrodennachbildung (3), etc., ausgebildet ist, und die Eingabevorrichtung (6) mit der Steuereinrichtung (10) verbunden ist, sodass die gespeicherten Parameter ( $P_i$ ) der idealen Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators (2) durch die Einflussparameter ( $P_E$ ) veränderbar sind.

16. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 10 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Lautsprecher (9) zur akustischen Wiedergabe eines Signals eines Zündvorgangs während der realen Bewegung des Elektrodenhalter-Simulators (2) während eines Zündvorgangs vorgesehen ist.

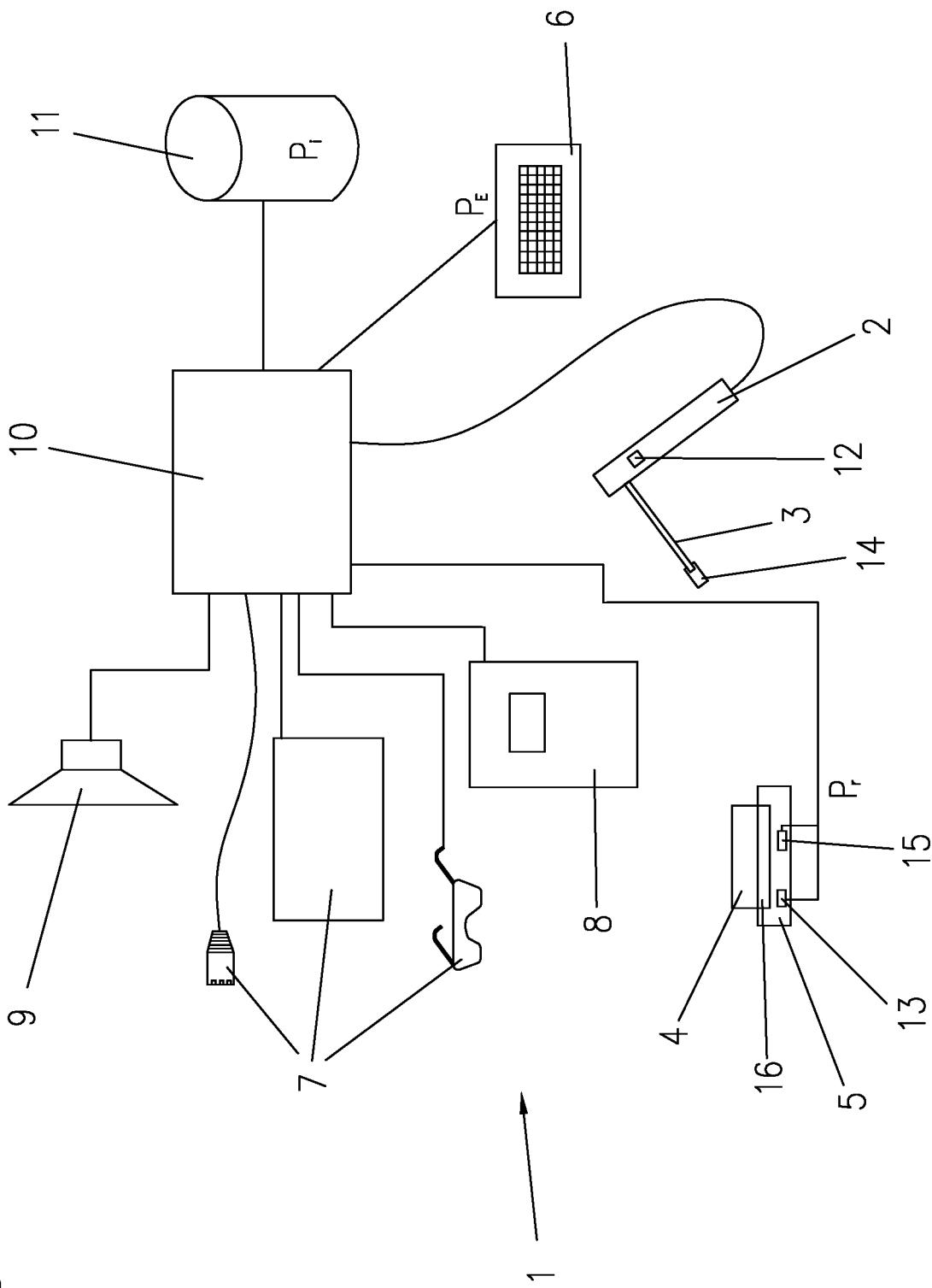
17. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 10 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest ein Sensor (12, 13) zur Messung der Lage des Elektrodenhalter-Simulators (2) in Bezug auf die Werkstücknachbildung (4) oder einen Werkstückhalter (5) für die Aufnahme der Werkstücknachbildung (4) vorgesehen ist, welcher zumindest eine Sensor (12, 13) mit der Steuereinrichtung (10) verbunden ist.

18. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 10 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuereinrichtung (10) zur Kalibrierung der Lage des Elektrodenhalter-Simulators (2) in Bezug auf die Werkstücknachbildung (4) vor dem Simulieren des Zündvorgangs ausgebildet ist.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen

Fig.1



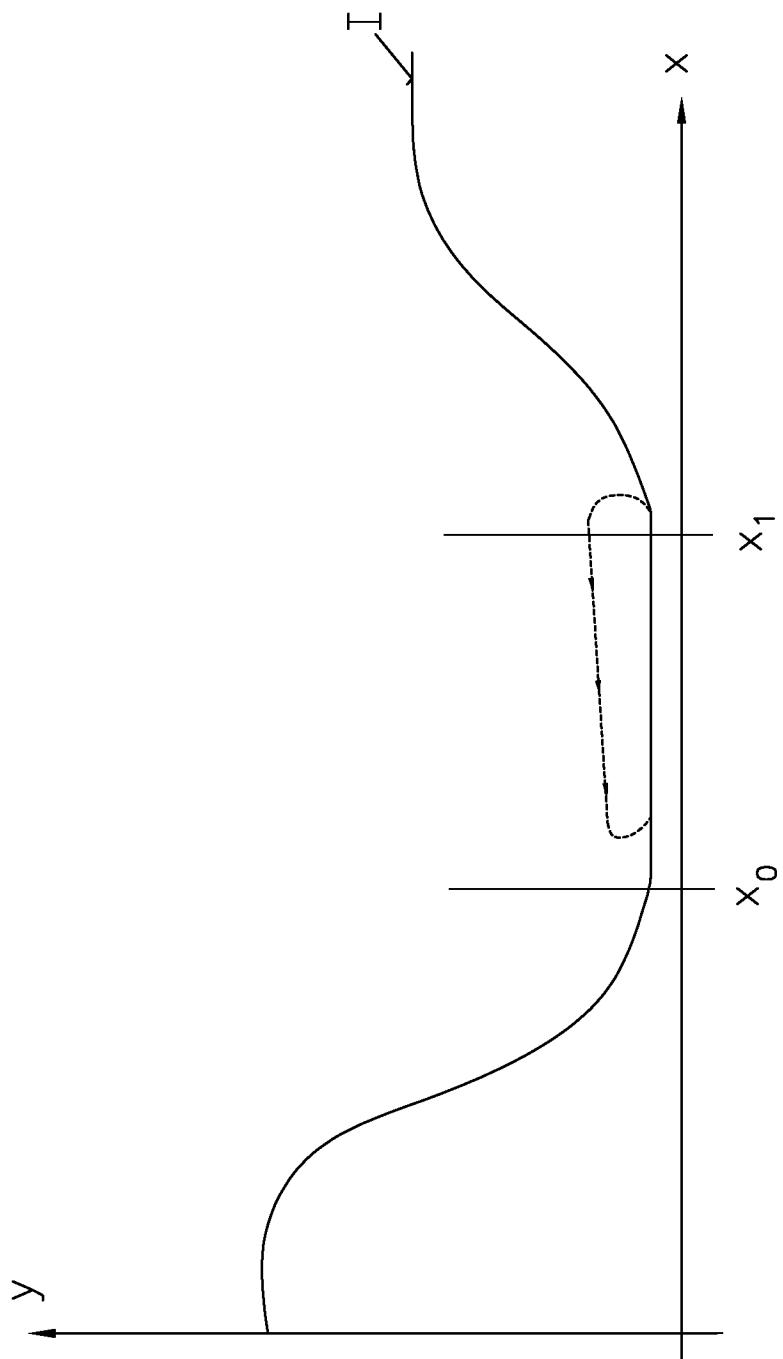


Fig.2

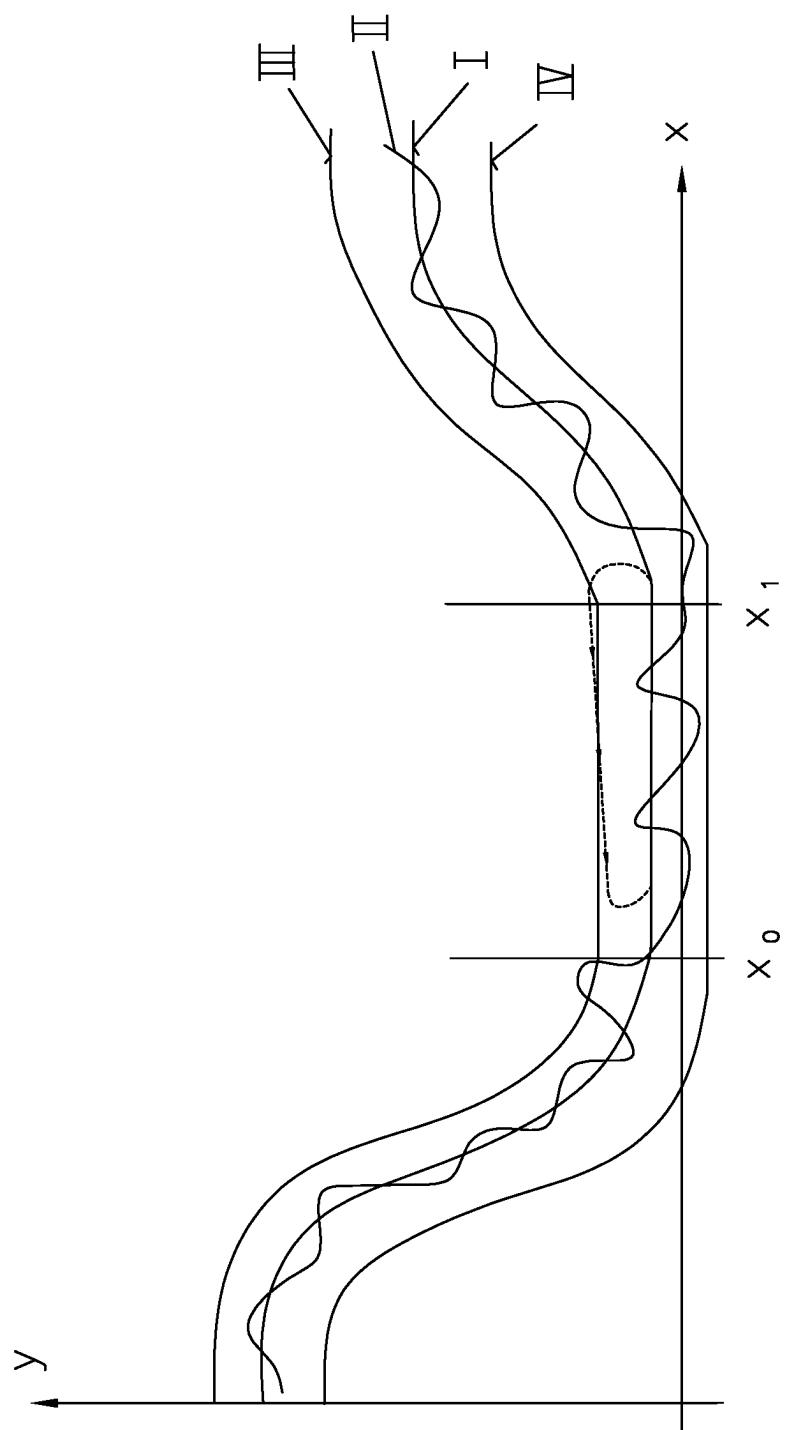


Fig.3

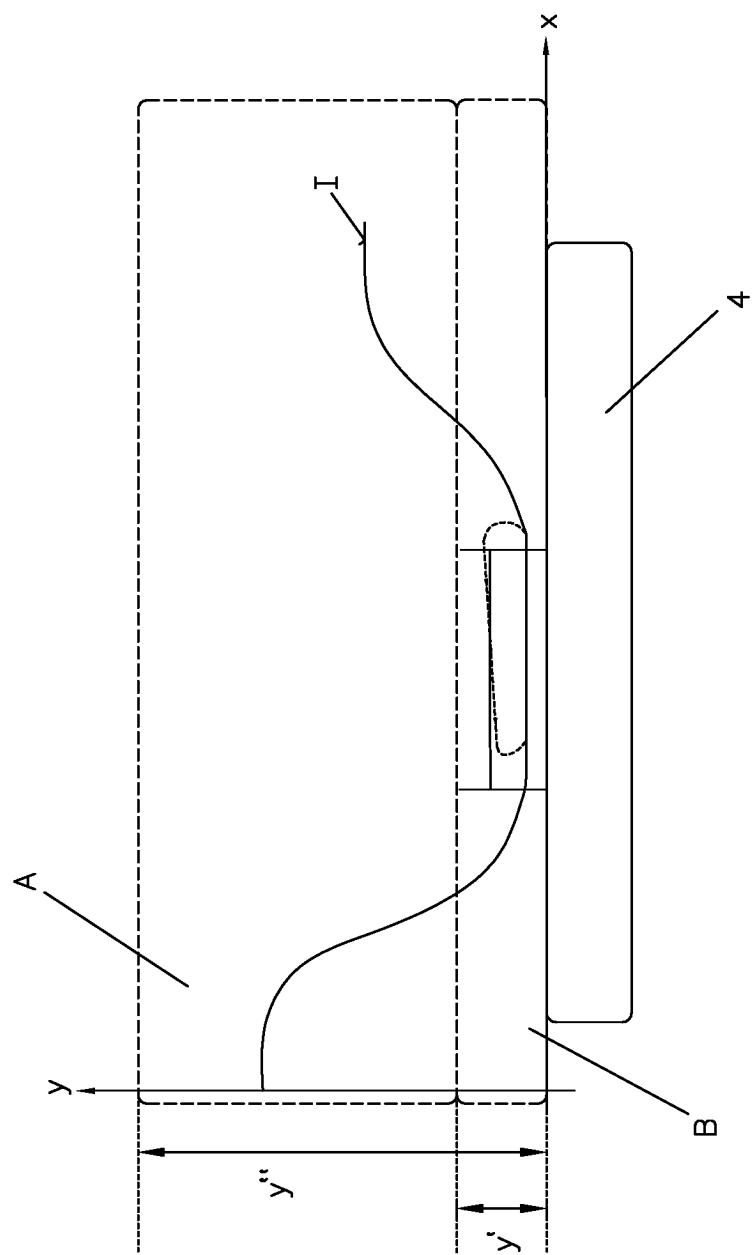


Fig.4

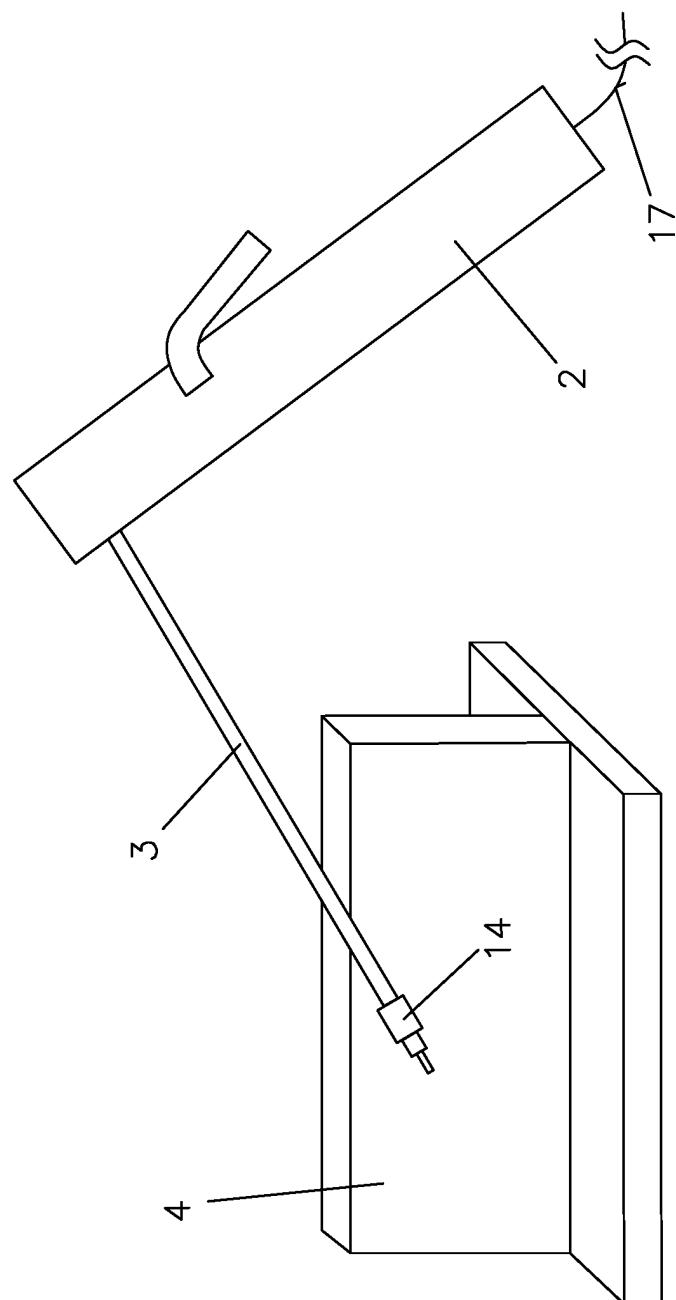


Fig.5