



Republik
Österreich
Patentamt

(11) Nummer: **AT 394 819 B**

(12)

PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 2733/88

(51) Int.Cl.⁵ : **B23K 9/18**

(22) Anmeldetag: 7.11.1988

(42) Beginn der Patentdauer: 15.12.1991

(45) Ausgabetag: 25. 6.1992

(56) Entgegenhaltungen:

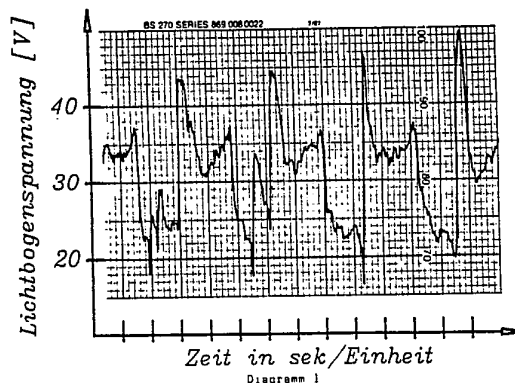
DE-PS-912382 DE-AS1216457 DE-OS1910399 EP-A1-095056

(73) Patentinhaber:

VARGA THOMAS DIPL.ING. DR. TECHN.
A-1030 WIEN (AT).

(54) VERFAHREN ZUM SCHWEISSEN

(57) Verfahren zum Schweißen, insbesondere Verbinden von metallischen Werkstoffen, wobei zumindest ein verzehrender metallischer Schweißzusatzwerkstoff, z. B. Drahtoder Banelektrode, relativ entlang und zur zu bildenden Schweißstelle, Schweißnaht oder dgl. bewegt und unter Einwirkung von elektrischer Energie, insbesondere Gleichstrom, geschmolzen wird, wobei während des Schweißens die Schweißstelle vom Pulver bedeckt wird, das unter Einwirkung von elektrischer Energie teilweise erschmolzen wird, wobei die elektrische Energiezufuhr zum metallischen Schweißzusatzwerkstoff, bezogen auf die Bewegung entlang der zu bildenden Schweißstelle, angehoben und gesenkt wird und der metallische Schweißzusatzwerkstoff zur Oberfläche der zu bildenden Schweißstelle in Abhängigkeit von und entsprechend der Energiezufuhr bezogen auf die Bewegung bewegt wird, wobei vorzugsweise der metallische Zusatzwerkstoff im wesentlichen während der hohen Energiezufuhr erschmolzen wird und während der gesenkten Energiezufuhr im wesentlichen nur die elektrische Leitung durch einen Lichtbogen möglichst niedrigen Stromes und Spannung und/oder durch die Pulverschmelze aufrecht erhalten wird.



AT 394 819 B

Eines der wichtigsten Verfahren beim Fügen von Metallen stellt das Schweißen dar. Beim Schweißen wird entweder mit oder ohne Zusatzwerkstoff gearbeitet. Alle Schmelzschweißverfahren, gleichgültig ob sie jetzt mit brennbaren Gasen oder mit elektrischem Strom oder dgl. bewirkt werden, haben zur Folge, daß in das bzw. in die Werkstücke Wärme eingebracht wird, womit entweder der Schweißzusatzwerkstoff zum Erschmelzen gebracht wird, oder lediglich der Werkstoff örtlich schmelzflüssig wird, wobei einerseits eine Vermischung der Werkstoffe eintreten soll und andererseits als unerwünschter Effekt das Werkstück als solches erhitzt wird. Durch die Erhitzung kann jedoch eine unerwünschte Gefügeänderung auftreten.

Wie aus diesen Ausführungen hervorgeht, treten beim Schweißen zwei voneinander nicht trennbare Effekte auf, und zwar einerseits, daß der Werkstoff erschmolzen wird und andererseits, daß Wärme in das zu verarbeitende Werkstück eingebracht wird. Bei der Entwicklung von Schweißverfahren besteht u. a. das Bestreben, die Wärme-einbringung in das Werkstück möglichst gering zu halten und andererseits beispielsweise durch Schutzgas oder auch durch Anwendung von Schweißpulver die Einwirkung der Atmosphäre möglichst gering zu halten. Die Wärmeeinbringung kann einerseits durch möglichst hohe und kurzzeitige Energieeinwirkung gering gehalten werden, wobei hier als Beispiele Laser, Elektronenstrahlschweißen und dgl. angeführt werden können. Derartige Einrichtungen sind jedoch besonders aufwendig, wobei gleichzeitig der energetische Wirkungsgrad außerordentlich gering ist.

Bei dem Unterpulverschweißverfahren wird auf die Schweißstelle ein, zumindest bei höherer Temperatur nach dem Schmelzen elektrisch leitfähiges, Pulver aufgebracht, wobei zwischen Werkstück und der verzehrenden Schweißelektrode unter dem Pulver ein Lichtbogen erzeugt wird. Die Schweißelektrode wird mit einer vorgegebenen Geschwindigkeit gegen das Werkstück bewegt, wobei der Schweißkopf gleichzeitig entlang der zu bildenden Schweißnaht oder dgl. verschoben wird. Das Abschmelzen der Schweißelektrode erfolgt zwar kontinuierlich, jedoch wird die Schweißnaht diskontinuierlich gebildet, da von der Schweißelektrode jeweils das Material tropfenförmig abgegeben wird. Das Schweißpulver kann neben der Aufgabe des Abdeckens und Schutz gegen die Atmosphäre und als elektrischer Leiter zu dienen auch noch weitere Aufgaben erfüllen. So kann beispielsweise über das Schweißpulver die chemische Zusammensetzung des Schweißgutes, z. B. durch weitere Legierungselemente, beeinflusst werden. So sehr auf der einen Seite das Unterpulverschweißverfahren ein in seiner Anwendung besonders vielseitiges Verfahren darstellt, ist der Schweißvorgang als solcher schwieriger einerseits dadurch bedingt, daß das Schweißen nicht visuell verfolgt werden kann, da die Schweißstelle durch das Schweißpulver abgedeckt ist und andererseits das Schweißpulver bzw. die Schmelze desselben bei der Ausbildung des Lichtbogens bzw. des elektrischen Leiters einen weiteren Parameter für das Schweißen darstellt, der bei anderen Schweißverfahren nicht vorhanden ist und daher nicht berücksichtigt werden muß.

In der EP-A1-0 095 056 wird ein Verfahren zum Schweißen mit einer abschmelzenden Elektrode beschrieben, wobei für die Stromstärke zwei Werte, u. zw. ein oberer und ein unterer Wert, vorgesehen sind. Die Umschaltung von einer Stromstärke zur anderen Stromstärke erfolgt über die Spannung. Befindet sich die Spitze der Elektrode, die abschmilzt, in der Nähe des mit einem Pol der Stromquelle verbundenen Werkstückes, so ist die Spannung relativ gering. Schmilzt nun die Elektrode schneller als die Zufuhrgeschwindigkeit der Elektrode zum Werkstück, so erhöht sich die Spannung. Bei einem bestimmten Spannungswert wird sodann auf die niedrigere Stromstärke umgeschaltet. Die Umschaltung zwischen den beiden Stromwerten erfolgt somit hier in Abhängigkeit von der Abschmelzgeschwindigkeit der kontinuierlich zugeführten Drahtelektrode. Diese unterliegt beim UP-Schweißen verfahrensbedingt unterschiedlich starken, jedoch in der Regel kaum voraussehbaren, Schwankungen (die sich aus dem Gleichgewicht in der Kaverne, d. h. dem "Lichtbogenraum" ergeben), so daß eine exakte Parametereinstellung in den einzelnen Pulsphasen nur bedingt und nicht reproduzierbar möglich ist.

Aus der DE-AS-1 216 457 wird bekannt, beim Unterpulverschweißverfahren den Schweißzusatzwerkstoff positiv zu polen.

Die DE-PS-912 382 hat ein Verfahren zum Widerstandsunterpulverschweißen zum Gegenstand, bei dem die Geschwindigkeit des Schweißzusatzwerkstoffes möglichst hoch gehalten werden soll, um die thermische Belastung der Energiezufuhr so gering wie möglich zu halten.

In der DE-OS-1 910 399 wird ein Verfahren zum Unterpulverschweißen mit pulsierender Energiezufuhr beschrieben, bei dem pro Zeiteinheit eine möglichst große Materialmenge abgeschmolzen werden soll. Die Zufuhrgeschwindigkeit des Schweißzusatzwerkstoffes wird nicht variiert, wobei eine Pulsfrequenz der Stromzufuhr zwischen 50 und 100 Hz vorgesehen ist.

Die Erfindung hat sich zum Ziel gesetzt, ein Unterpulverschweißverfahren zu schaffen, bei dem eine möglichst geringe Erhitzung der Werkstoffe gewährleistet ist, wobei gleichzeitig eine geringere Empfindlichkeit auf Einflußgrößen des Verfahrens gegeben ist.

Das erfindungsgemäße Verfahren zum Schweißen, insbesondere Verbinden von metallischen Werkstoffen, wobei zumindest ein verzehrender metallischer Schweißzusatzwerkstoff, z. B. Draht- oder Bandedelektrode, relativ entlang und zur zu bildenden Schweißstelle, Schweißnaht od. dgl. bewegt und unter Einwirkung von elektrischer Energie, insbesondere Gleichstrom, abgeschmolzen wird, wobei während des Schweißens die Schweißstelle vom Pulver bedeckt wird, das unter Einwirkung von elektrischer Energie teilweise erschmolzen wird, wobei die elektrische Energiezufuhr zum metallischen Zusatzschweißwerkstoff, bezogen auf die vorzugsweise gleichförmige Bewegung entlang der zu bildenden Schweißstelle, insbesondere bezogen auf die Zeit, angehoben und gesenkt wird, besteht im wesentlichen darin, daß der metallische Schweißzusatzwerkstoff zur Oberfläche der zu bildenden

Schweißstelle in Abhängigkeit von und entsprechend der Energiezufuhr, bezogen auf die Bewegung, zugeführt wird, wobei vorzugsweise der metallische Zusatzwerkstoff im wesentlichen während der hohen Energiezufuhr abgeschmolzen wird, und während der gesenkten Energiezufuhr im wesentlichen nur die elektrische Leitung durch einen Lichtbogen möglichst niedrigen Stromes und Spannung und/oder durch die Pulverschmelze aufrecht erhalten wird.

Vorrichtungen, mit welchen der Strom und auch die Bewegung der Elektrode gesteuert werden können, sind von anderen Schweißverfahren bekannt und es kann hiezu auf die US-PS-4.620.082 verwiesen werden, in welcher eine derartige Vorrichtung, allerdings für die verfeinerte Regelung eines normalen Lichtbogenschweißens mit abschmelzender Elektrode beschrieben ist.

Es war nun durchaus überraschend, daß beim Unterpulverschweißverfahren ein derartiges Verfahren durchgeführt werden kann, wobei eine minimale Wärmeeinbringung mit besonders hoher Verfahrenssicherheit dann gegeben ist, wenn die Hochenergiephase und die Niederenergiephase so aufeinander abgestimmt sind, daß in der hohen Energiephase der metallische Schweißzusatzwerkstoff als stromführende Elektrode abgeschmolzen und gleichzeitig relativ rasch gegen die Oberfläche bewegt wird, wobei in der niedrigen Energiephase im wesentlichen kein metallischer Zusatzwerkstoff abgeschmolzen und lediglich das Pulver erschmolzen bzw. der elektrische Lichtbogen aufrecht erhalten wird, um ein erneutes Zünden und somit einen unruhigen Abschmelzprozeß zu vermeiden. Durch einen derartig gezielten Abschmelzvorgang der metallischen Elektroden kann ein abwechselnder Abschmelz- und Erstarrungsvorgang erreicht werden. Durch die rasche lokale Erhitzung können Wärmeleitungsverluste während der Abschmelzphase gegenüber dem Schweißen mit gleichbleibendem Strom vermindert werden.

Während der periodischen minimalen Energiezufuhr erstarrt die Schmelzlinse größtenteils, d. h. die Wärmeverluste führen zur erwünschten raschen Abkühlung. Durch die größere Wärmekonzentration und geringere Wärmeverluste können gegenüber dem Schweißen mit gleichbleibendem Strom größere Tiefen aufgeschmolzen werden. Wegen der geringeren Schmelzenvolumina als bei stetigem Schweißen ist eine bessere Fähigkeit, Spalten zu überbrücken, gegeben.

Die an die größtenteils bereits erstarrte, vorherige Schweißlinse angelegte nächste, vorerst flüssige Linse bewirkt eine Wärmebehandlung im Sinne einer Umkörnung und Verfeinerung des primären, dendritischen Korns.

Aus dem Angeführten läßt sich ableiten, daß sich durch die niederfrequente Pulsierung des Stromes sowie der Zufuhr der Elektrode neben der Verminderung der Erhitzung ein tieferer Einbrand, eine Überbrückung auch größerer Spalte und eine Verbesserung der mechanischen Eigenschaften ergibt.

Wird der metallische Schweißzusatzwerkstoff zeitverzögert bezogen auf die elektrische Energiezufuhr mit beschleunigter bzw. verzögerter Bewegung zur Oberfläche der zu bildenden Schweißstelle bewegt, so wird ein besonders gleichmäßiger Schweißvorgang gewährleistet, der wahrscheinlich darauf zurückzuführen ist, daß die Trägheit des Systems, z. B. durch Wärmeleitung im Schweißzusatzwerkstoff und dgl. berücksichtigt ist und damit die Länge des Lichtbogens im Pulver bzw. im geschmolzenen Pulver entsprechend geregelt bzw. konstant gehalten werden kann.

Ist der metallische Schweißzusatzwerkstoff - wie an sich bekannt - mit dem positiven Pol der Spannungsquelle verbunden, so brennt der Lichtbogen besonders ruhig, wobei größere Schmelztropfen als bei Minuspolarung auftreten.

Wird die Frequenzänderung der Energiezufuhr zum metallischen Schweißzusatzwerkstoff, insbesondere die Pulsierung zwischen 0,1 und 5 Hertz, insbesondere zwischen 0,2 und 1 Hertz gehalten, so ist eine besonders günstige Anzahl der Tropfenbildung pro Zeiteinheit gewährleistet, wobei weiters eine besonders exakte Steuerung der Drahtzufuhr durchgeführt werden kann.

Wird das Verhältnis der Zeitdauer von Hochenergie- und Niederenergiezufuhr zwischen 0,2 und 0,8 gehalten, so kann eine besonders geringe Wärmeeinbringung bei zufriedenstellend rascher Schweißung realisiert werden.

Die Änderung der Energiezufuhr kann über die Steuerung der Stromstärke erreicht werden. Bei konventionellen Stromquellen ergeben sich die zugehörigen Spannungen gemäß den zugehörigen Kennlinien. Neue Stromquellen erlauben hingegen in den gegebenen physikalischen Grenzen freie Wahl von Strom und Spannung, sodaß diese optimal eingestellt werden können.

Erfolgt die Steigerung und/oder Senkung der Energiezufuhr über zumindest zwei Stufen, insbesondere kontinuierlich, so kann der Trägheit des Systems, bestehend aus Schweißkopf mit Schweißzusatzwerkstoff, Pulver und dem zu schweißenden Werkstoff besonders günstig Rechnung getragen werden.

Wird die Energiezufuhr zudem in Abhängigkeit vom Querschnitt des metallischen Zusatzwerkstoffes gesteuert, so können Unregelmäßigkeiten oder beabsichtigte Querschnittsänderungen, z. B. periodisch wiederkehrende Querschnittsänderungen, bei dem Schweißvorgang besonders einfach berücksichtigt werden.

Im folgenden wird die Erfindung anhand der bildlichen Darstellungen sowie der Beispiele näher erläutert.

Es zeigen:

Die einzige Zeichnungsfigur eine schematische Darstellung einer Anlage zum Unterpulverschweißen, wohingegen die beiden Diagramme die Abhängigkeit des Schweißstromes bzw. der Lichtbogen Spannung von der Zeit darstellen und in den beiden Bildern (1) und (2) eine Schweißnaht in Draufsicht bzw. im Schnitt dargestellt sind.

Das Werkstück (1) ist mit dem negativen Pol der Schweißstromquelle (2) verbunden. Der Schweißkopf (3) weist einen Pulvertrichter (4) auf, über welchen das Pulver auf die Oberfläche des Werkstückes geleitet wird. Die drahtförmige Elektrode (5) wird von einer Vorratsstrommel (6) abgezogen. Der Abzug erfolgt über das Rollen-

paar (7), das über die Antriebseinheit für die Drahtvorschubrollen (8) gesteuert wird. Die Elektrode ist über die Schweißstromzuführung (9) mit dem positiven Pol der Schweißstromquelle verbunden. Die Schweißstromquelle wird durch eine Steuereinheit (11) gesteuert, und zwar in der Form, daß die Energieabgabe in gepulster Form erfolgt, wobei die Steuerung über die Stromstärke durchgeführt wird und gleichzeitig erfolgt die Steuerung der Vorschubeinrichtung (10), wobei eine zeitliche Verzögerung zwischen einem Impuls des Stromes und dem Vorschub der Elektrode erfolgt. Der Schweißkopf wird über eine nicht dargestellte Einrichtung kontinuierlich über das Werkstück geführt.

Beispiel 1:

Zwei Bleche mit einer Dicke von 15 mm aus einem Stahl mit in Gew.-% Kohlenstoff 0,08, Silizium 0,21, Mangan 0,66, Phosphor 0,017, Schwefel 0,028, Rest Eisen wurden mit einem für Unterpulverschweißungen üblichen Stirnflächenabstand von 0,8 mm nebeneinander angeordnet. Die Werkstücke wurden sodann mit dem negativen Pol der Spannungsquelle verbunden. Für die Schweißung gelangte ein Schweißpulver folgender Zusammensetzung in Gew.-% in Anwendung: Silizium- und Titandioxid 15, Calcium- und Magnesiumoxid 30, Aluminium- und Manganoxid 20 und Calciumfluorid 30. Als Schweißdraht gelangte ein Draht mit 4 mm Ø und folgender chemischer Zusammensetzung in Gew.-%: Kohlenstoff 0,1, Silizium 0,15, Mangan 1,0, Rest Eisen zum Einsatz. Während der Schweißung wurde der Schweißkopf bei einer gleichförmigen Bewegung mit 30 cm pro Minute entlang der zu bildenden Schweißnaht bewegt. Während der Bewegung wurde das Schweißpulver auf das Werkstück abgelagert. In der Niederenergiephase betrug die Spannung des Stromes 25 Volt und die Stromstärke 150 Amp. und es wurde sodann die Spannung und die Stromstärke in zwei Stufen auf 30 Volt bzw. 500 Amp. angehoben. Durch diese beiden unterschiedlichen Energieniveaus konnte sichergestellt werden, daß in der Niederenergiephase lediglich ein Lichtbogen minimaler Energie brannte, wo hingegen nur in der Hochenergiephase die Schweißung erfolgte, d. h. der Zusatzdraht ab- und der Grundwerkstoff aufgeschmolzen wurde. Die Vorschubgeschwindigkeit des Schweißdrahtes betrug in der Niederenergiephase 13,8 cm/min, wo hingegen in der Hochenergiephase der Schweißzusatzwerkstoff mit 22,8 cm/min gegen das Werkstück bewegt wurde. Das Verhältnis zwischen Hochenergie- und Niederenergiezufuhr betrug 50 % bei einer Impulsfrequenz von 0,5 Hertz. Die so erhaltene Schweißnaht bestand aus einander überlappenden Schmelzlinen, wobei die lineare Überlappung rund 50 % betragen hat. Die so erhaltene Schweißnaht wurde an mehreren Stellen durch Anfertigung entsprechender Schliffe untersucht und wies keinerlei Störstellen auf. In Bild 1 ist die erhaltene Schweißnaht in der Ansicht von oben dargestellt. Bild 2 zeigt den Schnitt durch die Schweißnaht von Bild 1 mit 2-facher Vergrößerung.

Mit derselben Versuchsanordnung, jedoch mit der Ausnahme, daß der Strom nicht gepulst wurde, sondern unter einer Spannung von 30 Volt und 500 Amp. zugeführt wurde, wobei die Schweißkopfgeschwindigkeit wieder 30 cm pro Minute betrug, wurde eine weitere Schweißnaht angefertigt. Mikroskopische Untersuchungen dieser Schweißnaht haben ebenfalls ergeben, daß keine Störstellen vorliegen. Wie sich aus der Geschwindigkeit des Schweißkopfes und der Spannung und der Stromstärke ergibt, ist pro Zeiteinheit eine wesentlich höhere Wärmemenge (29 kJ/cm gegenüber 17,3 kJ/cm) in das Grundmaterial eingebracht worden. Dies bei gleichem Einbrand von etwa 3,8 mm.

Beispiel 2:

Es wurde analog Beispiel 1 verfahren, wobei ein Stahl folgender Zusammensetzung in Gew.-% Kohlenstoff 0,08, Silizium 0,21, Mangan 0,66, Phosphor 0,017, Schwefel 0,028, Rest Eisen verschweißt wurde. Als Schweißpulver wurde ein Pulver folgender chemischer Zusammensetzung in Gew.-% verwendet: Silizium- und Titandioxid 30, Calciumfluorid 10, Aluminium- und Manganoxid 55. Als metallischer Schweißzusatzwerkstoff wurde ein Schweißdraht folgender chemischer Zusammensetzung in Gew.-% verwendet: Kohlenstoff 0,08, Silizium 0,03, Mangan 0,48, Rest Eisen. Die Geschwindigkeit des Schweißkopfes betrug 20 cm pro Minute. In der Niederenergiephase betrug die Spannung 25 Volt und die Stromstärke 150 Amp. In der Hochenergiephase 35 Volt und 600 Amp. Die Frequenz war 0,3 Hertz, wo hingegen das Verhältnis von Hochenergie- zur Niederenergiephase 43,75 % betrug. Die Geschwindigkeit des Schweißzusatzwerkstoffes in seiner Bewegung zur Oberfläche des Werkstoffes betrug in der Niederenergiephase 13,8 cm pro Minute, wo hingegen in der Hochenergiephase die Geschwindigkeit 31,2 cm pro Minute betrug. Die Beschleunigung der Geschwindigkeit des Schweißzusatzwerkstoffes erfolgt mit einer Zeitverzögerung von 0,42 Sekunden. Die so erhaltene Schweißnaht wurde wieder mit einer mikroskopischen Untersuchung überprüft, wobei einerseits eine lineare Überlappung von ca. 40 % festgestellt werden konnte. Die Schweißnaht, welche sich hervorragend als Wurzelschweißnaht eignet, die dann von entweder analog oder anders gebildeten Schweißraupen überdeckt werden kann, wies keinerlei Poren oder andere Fehlstellen auf. Der entsprechende zeitliche Spannungsverlauf bzw. der Schweißstromstärkeverlauf ist in Diagramm 1 bzw. 2 dargestellt.

Analog Beispiel 2 wurde sodann eine Schweißnaht unter Beibehaltung einer Spannung von 35 Volt und einer Stromstärke von 600 Amp. mit einer Geschwindigkeit von 20 cm pro Minute des Schweißkopfes durchgeführt. Die so erhaltene Schweißnaht war ebenfalls fehlerfrei, wobei allerdings die Wärmeeinbringung, bezogen auf die Gesamtlänge der Schweißnaht, wesentlich höher war als bei der gepulst angefertigten Schweißnaht.

PATENTANSPRÜCHE

5

1. Verfahren zum Schweißen, insbesondere Verbinden von metallischen Werkstoffen, wobei zumindest ein ver-
 10 zehrender metallischer Schweißzusatzwerkstoff, z. B. Draht- oder Bandedelektrode, relativ entlang und zur zu bilden-
 den Schweißstelle, Schweißnaht oder dgl. bewegt und unter Einwirkung von elektrischer Energie, insbesondere
 Gleichstrom, abgeschmolzen wird, wobei während des Schweißens die Schweißstelle vom Pulver bedeckt wird,
 das unter Einwirkung von elektrischer Energie teilweise erschmolzen wird, wobei die elektrische Energiezufuhr
 15 zum metallischen Zusatzschweißwerkstoff, bezogen auf die vorzugsweise gleichförmige Bewegung entlang der zu
 bildenden Schweißstelle, insbesondere bezogen auf die Zeit, angehoben und gesenkt wird, **dadurch gekenn-
 zeichnet**, daß der metallische Schweißzusatzwerkstoff zur Oberfläche der zu bildenden Schweißstelle in Abhän-
 gigkeit von und entsprechend der Energiezufuhr bezogen auf die Bewegung zugeführt wird, wobei vorzugsweise
 der metallische Zusatzwerkstoff im wesentlichen während der hohen Energiezufuhr abgeschmolzen wird und
 während der gesenkten Energiezufuhr im wesentlichen nur die elektrische Leitung durch einen Lichtbogen mög-
 20 lichst niedrigen Stromes und Spannung und/oder durch die Pulverschmelze aufrecht erhalten wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der metallische Schweißzusatzwerkstoff zeitver-
 zögert, bezogen auf die elektrische Energiezufuhr mit beschleunigter bzw. verzögerter Bewegung zur Oberfläche
 25 der zu bildenden Schweißstelle bewegt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß der metallische Schweißzusatzwerkstoff
 - wie an sich bekannt - mit dem positiven Pol der Spannungsquelle verbunden wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Frequenz der Änderung der Ener-
 30 giezufuhr zum metallischen Schweißzusatzwerkstoff, insbesondere die Pulsierung zwischen 0,1 und 5 Hertz
 gehalten wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Verhältnis der Zeitdauer
 35 von Hochenergie- zur Niederenergiezufuhr zwischen 0,2 und 0,8 gehalten wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß über die Änderung der Strom-
 stärke gesteuert wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Steigerung und/oder Sen-
 40 kung der Energiezufuhr über zumindest 2 Stufen, insbesondere kontinuierlich, erfolgt.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Energiezufuhr in Abhän-
 45 gigkeit vom Querschnitt des metallischen Schweißzusatzwerkstoffes gesteuert wird.

Hiezu 3 Blatt Zeichnungen

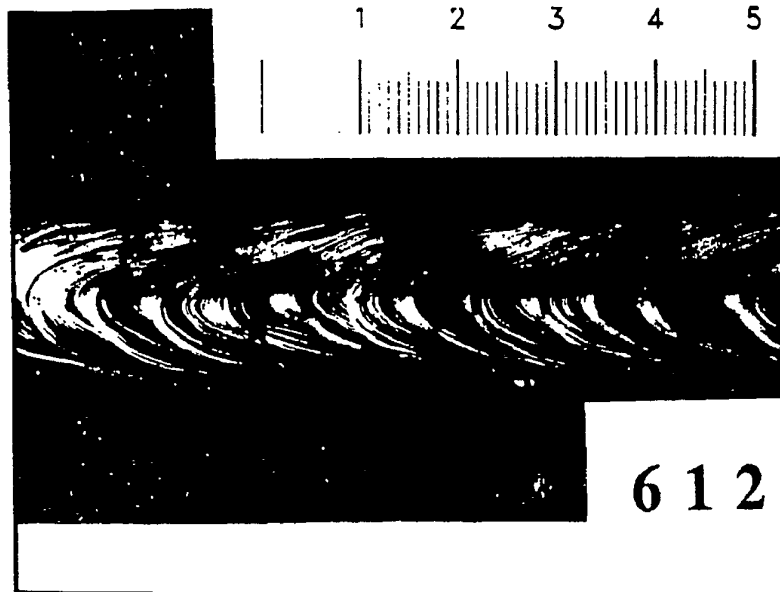


Bild 1

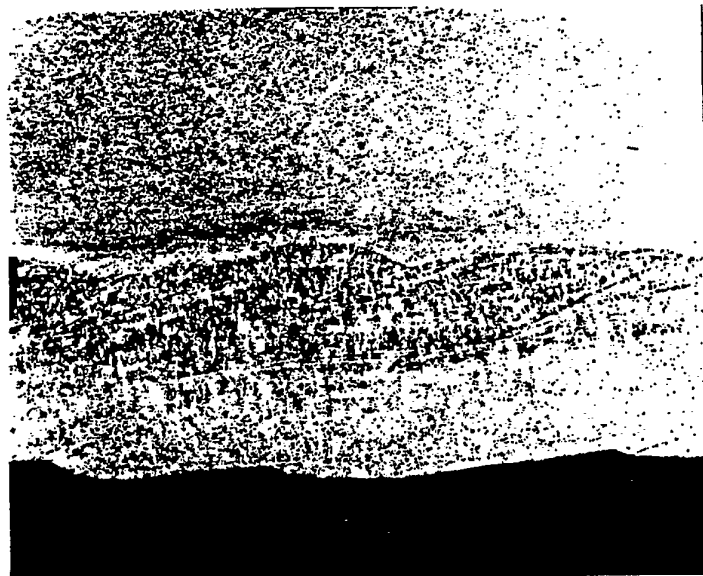


Bild 2

