



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 10 2004 001 316 A1 2004.07.22

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2004 001 316.0

(22) Anmeldetag: 07.01.2004

(43) Offenlegungstag: 22.07.2004

(51) Int Cl.7: B23K 15/00

(30) Unionspriorität:

10/338349 07.01.2003 US

(74) Vertreter:

Rüger und Kollegen, 73728 Esslingen

(71) Anmelder:

General Electric Co., Schenectady, N.Y., US

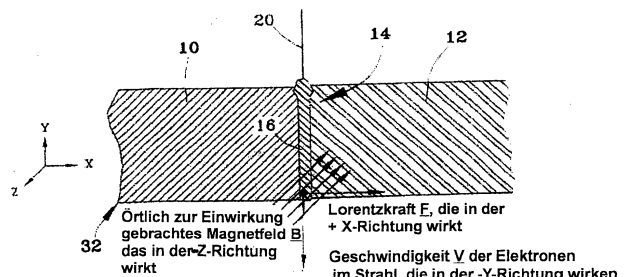
(72) Erfinder:

Murphy, John Thomas, Niskayuna, N.Y., US

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: Elektronenstrahlschweißverfahren und damit gefertigte geschweißte Komponenten

(57) Zusammenfassung: Ein Verfahren zur Fertigung einer mittels Elektronenstrahlschweißen geschweißten Komponente (32) und die sich ergebende geschweißte Anordnung. Das Verfahren betrifft insbesondere das Schweißen einer Komponente (32), deren Subkomponenten (10, 12) aus voneinander verschiedenen Metallen bestehen, die dazu führen würden, dass ein zum Schweißen der Subkomponenten (10, 12) verwendeter Elektronenstrahl (20) beim Durchgang durch die Trennfuge (14) der Gefahr ausgesetzt ist, von der Trennfuge (14) zwischen den Subkomponenten (10, 14) weg und in eine der Subkomponenten (10, 12) hinein abgelenkt zu werden. Das Verfahren ist auch für Schweißanwendungen geeignet, bei denen die Trennfuge (14) zwischen den Subkomponenten (10, 12) eine gekrümmte oder gewölbte Gestalt aufweist. Das Verfahren beinhaltet die magnetische Lenkung des Elektronenstrahls (20), derart, dass der Strahl (20) dem jeweils gewünschten Weg durch die Trennfuge (14) folgt.



Beschreibung

Technischer Hintergrund der Erfindung

(1) Gebiet der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich allgemein auf Verfahren zum Schweißen von Metalllegierungen. Mehr im Einzelnen betrifft die Erfindung ein Elektronenstrahl (EB)-Schweißverfahren zum Verschweißen einer Verbindungsstelle zwischen Gegenständen aus unterschiedlichen Metalllegierungen und außerdem ein Verfahren zum Elektronenstrahlverschweißen einer Trennstelle mit gekrümmten Kontaktflächen zwischen einzelnen Gegenständen.

(2) Beschreibung des einschlägigen Standes der Technik

[0002] Zur Ausbildung hochtemperaturenbeanspruchter Komponenten von Turbinen, einschließlich Turbinenleitschaufeln (Düsen) und Schaufelblättern (Laufschaufeln) von Gas- und Dampfturbinen, sind verschiedene hochwärmefeste Legierungen in weitem Gebrauch. Es gibt Umstände, unter denen solche Komponenten mit Vorzug oder notwendigerweise durch Schweißen gefertigt werden. So können z.B. Komponenten mit komplizierter Gestalt, wie Dampfturbinendüsenanordnungen (Leitapparate) in einfacher Weise dadurch hergestellt werden, dass Gussteile miteinander verschweißt werden. Für diesen Zweck wurden schon verschiedene Schweißtechniken entwickelt. Beim Handschweißen sind das Wolfram-Inertgasschweißen (WIG; TIG) und das Plasmalichtbogenschweißen (WPL; PTA) weit verbreitet. Für anspruchsvolle Anwendungsfälle, wie etwa bei Schweißnähten mit einem großen Tiefen-/Breitenverhältnis, wurden Laserstrahl- und Elektronenstrahlschweißverfahren entwickelt.

[0003] Wie an sich bekannt, wird beim Elektronenstrahlschweißen ein Strahl hochenergetischer Elektronen auf eine Nahtstelle zwischen im Vakuum gehaltenen Gegenständen gerichtet. Die Elektronenstrahlschweißverfahren sind insbesondere zur Herstellung von Schweißnähten mit einem großen Tiefen-/Breitenverhältnis geeignet, weil das Elektronenstrahlschweißen die größte Eindringtiefe bei allen Strahlschweißverfahren ergibt, d.h. in der Größenordnung von etwa 4 inches (etwa 10 cm) und mehr, wobei auch schon Tiefen-/Breitenverhältnisse von etwa 10 zu 50 ohne Weiteres erreicht werden konnten. Wenn jedoch Gegenstände, die aus unterschiedlichen Metallen bestehen und eine verhältnismäßige tiefe Schweißnaht erfordern, elektronenstrahlgeschweißt werden, besteht ein häufig anzutreffendes Problem darin, dass der Strahl sich am Boden der Naht „umbiegt“, d.h. sich in einen der Gegenstände hineinkrümmt und die Nahtstelle verlässt, was einen Bindefehler (lack-of-fusion (LOF) Defekt) ergibt. So kann sich z.B. beim Schweißen des Leitapparats ei-

nes Turbinenstators, dessen Schaufeln an einem inneren und an einem äußeren Ring (Deckband) angeschweißt werden, eine seitlich versetzte oder hakenartig gekrümmte Schweißnahtausbildung ergeben. Eine solche Situation ist schematisch in **Fig. 1** dargestellt, in der eine Elektronenstrahlkanone **22** veranschaulicht ist, die einen Elektronenstrahl **20** auf eine Trennfuge (Schweißstoß) **14** zwischen zwei Gegenständen **10**, **12** richtet, welche aus verschiedenen Metallen bestehen. Die von dem Elektronenstrahl **20** erzeugte Schweißnaht **16** krümmt sich, wie deutlich zu sehen, in die linke Komponente **10** hinein, wobei sie so etwas wie einen sogenannten „Haken“ **24** ausgebildet. Der Haken **24** hat zur Folge, dass die sich ergebene Schweißnaht **16** unvollständig ist, wobei sich ein Bindefehler **18** an dem der Kanone **22** gegenüber liegenden Ende der Fuge **14** ergibt. Der Grund für die Ausbildung des Hakens **24** ist strittig. Zu möglichen Gründen dafür gehören der Effekt einer thermischen elektromotorischen Kraft (EMK) oder ein Elektronegativitätsunterschied in den verschiedenen Metallen.

[0004] Intuitive Ansätze zur Abhilfe dieses Problems, etwa dass die Gegenständen **10**, **12** unter dem Strahl **20** vorgespannt werden oder dass die Trennfuge **14** unter einem Winkel zu dem Strahl **20** ausgerichtet wird, haben sich als wirkungslos erwiesen, weil sich der Elektronenstrahl **20** bei einer Bewegung der Fuge **14** mit bewegt. Es ist auch bekannt, dass verhältnismäßig kleine magnetische Streufelder, die zufolge des Vorhandenseins magnetischer Spann- oder Aufnahmevorrichtungen oder wegen des Restmagnetismus in bearbeiteten Teilen auftreten, bereits eine deutliche Strahlbewegung hervorrufen können. Demgemäß werden solche Teile häufig vor dem Schweißen mit einem Gaussmeter geprüft und falls erforderlich entmagnetisiert. Diese Maßnahmen reichen aber nicht aus um den in **Fig. 1** dargestellten Haken **24** des Strahls zu verhüten.

[0005] Demgemäß besteht der Wunsch die Hakenbildung eines Elektronenstrahls beim Verschweißen von voneinander verschiedenen Metallen auszuschalten und damit das Elektronenstrahlschweißen einer größeren Vielzahl von Komponenten zu ermöglichen, die tiefe Schweißnähte mit hohen Breiten-/Längenverhältnissen erfordern.

Kurze Zusammenfassung der Erfindung

[0006] Die Erfindung schafft ein Verfahren zur Herstellung einer geschweißten Anordnung durch Elektronenstrahlschweißen und die sich daraus ergebene geschweißte Anordnung. Das Verfahren ist insbesondere auf das Schweißen einer Anordnung gerichtet, deren Subkomponenten aus verschiedenen Metallen bestehen, so dass für den Elektronenstrahl die Gefahr besteht, dass er von der Kontaktflächentrennstelle (Fuge oder Stoß) zwischen den Subkomponenten beim Durchgang durch die Trennfuge abgelenkt wird. Das Verfahren beinhaltet die magnetische Lei-

tung des Elektronenstrahls in der Weise, dass der Strahl einem vorbestimmten Weg durch die Trennfuge folgen muss.

[0007] Das erfindungsgemäße Elektronenstrahlschweißverfahren beinhaltet allgemein das Zusammenbringen zweier oder mehrerer Gegenstände zur Ausbildung wenigstens einer Berührungsflächentrennstelle (Trennfuge) zwischen denselben. Sodann wird ein örtliches magnetisches Feld auf wenigstens einen Teil der Kontaktflächentrennstelle (Trennfuge) zur Einwirkung gebracht, worauf ein Elektronenstrahl auf die Trennfuge gerichtet wird, um die Gegenstände an der Trennfuge miteinander zu verschweißen so dass sich eine geschweißte Komponente ergibt. Das örtliche Magnetfeld wird in solcher Weise zur Anwendung gebracht, dass es den Elektronenstrahl beim Durchgang durch die Trennfuge so leitet, dass die Gegenstände über die gesamte Fuge miteinander verschweißt werden.

[0008] Gemäß einem Aspekt der Erfindung ist die Trennfuge zwischen den Gegenständen geradlinig, und das örtliche Magnetfeld so wird so zur Einwirkung gebracht, dass es den Elektronenstrahl beim Durchgang durch die Trennfuge gerade richtet. Dieses Verfahren ist anwendbar, wenn die Gegenstände aus verschiedenen Metallen bestehen und die Verschiedenheit der Metalle derart ist, dass ohne lokales Magnetfeld der auf die Trennfuge gerichtete Elektronenstrahl von der Trennfuge weg und in einen der Gegenstände hinein gerichtet werden würde. Das örtliche Magnetfeld wird dann derart zur Einwirkung gebracht, dass es den Elektronenstrahl beim Durchgang durch die Trennfuge geradrichtet, so dass die Gegenstände über die gesamte gerade Trennfuge miteinander verschweißt werden. Bei einem anderen Aspekt der Erfindung ist die Trennfuge zwischen den Gegenständen gebogen und das lokale Magnetfeld wird in der Weise zur Einwirkung gebracht, dass es den Elektronenstrahl beim Durchgang durch die Trennfuge so verbiegt, dass die Gegenstände über die gesamte gebogene Trennfuge miteinander verschweißt werden.

[0009] Das erfindungsgemäße Verfahren ist von besonderem Nutzen, wenn eine verhältnismäßige tiefe Schweißnaht erforderlich ist, wie dies in Fällen gegeben ist, in denen die zu verschweißende Trennfuge eine Länge von 10 cm oder mehr in der Richtung, in der der Elektronenstrahl durch die Trennfuge verläuft aufweist. Gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung ist die Erfindung auch dann besonders zweckmäßig, wenn aus verschiedenen Materialien bestehende Gegenstände wie solche aus Edelstahl und Kohlenstoffstahl, miteinander elektronenstrahlverschweißt werden sollen.

[0010] Andere Aufgaben und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden detaillierten Beschreibung.

Kurze Beschreibung der Zeichnung

[0011] **Fig. 1** veranschaulicht das Hakenbildungsphänomen, das bei der Herstellung tiefer Schweißnähte mittels Elektronenstrahlschweißen bei Gegenständen aus verschiedenen Metallen beobachtet wurde;

[0012] **Fig. 2** veranschaulicht die Anwendung eines lokalen Magnetfeldes zur Erzeugung einer Lorentzkraft, die den „Haken“ des Strahls nach **Fig. 1** im Wesentlichen beseitigt, so dass der Strahl mit der geradlinigen Trennfuge zwischen zwei jeweils im Querschnitt dargestellten Gegenständen im Wesentlichen zusammenfällt.

[0013] **Fig. 3** veranschaulicht die Verwendung eines Arrays von Einzelspulen zur Erzeugung des lokalen Magnetfeldes der **Fig. 2**;

[0014] **Fig. 4** veranschaulicht die Verwendung eines Arrays von Einzelspulen zur Erzeugung eines lokalen Magnetfeldes zur Erzeugung einer Lorentzkraft, die einen Elektronenstrahl so biegt, dass der Strahl mit einer gebogenen Trennfuge zwischen zwei jeweils im Querschnitt dargestellten Gegenständen im Wesentlichen zusammenfällt.

Detaillierte Beschreibung der Erfindung

[0015] Wie in den **Fig. 2, 3** und **4** dargestellt, benützt die Erfindung ein Magnetfeld das von einer oder mehreren Spulen **30** erzeugt wird, die so ausgerichtet sind, dass sie einen Elektronenstrahl **20** durch eine Trennfuge oder Trennstelle **14** zum Zwecke der Verschweißung der Komponenten **10, 12** an der Trennfuge **14** und damit zur Herstellung einer geschweißten Anordnung **32** leiten. Der Einfachheit halber werden in den **Fig. 1** bis **4** für gleiche Elemente gleiche Bezugszeichen verwendet. Die Komponenten **10, 12** können aus einer Vielfalt von Metalllegierungen bestehen, einschließlich Stählen und Superlegierungen (Super alloys), die zur Herstellung von gegossenen Turbinenkomponenten von Gas- oder Dampfturbinen verwendet werden.

[0016] In den **Fig. 2, 3** ist die Trennfuge im Wesentlichen gerade dargestellt, während in **Fig. 4** die Trennfuge **14** gebogen oder gewölbt veranschaulicht ist. Bei den in den **Fig. 2, 3** veranschaulichten Gegebenheiten findet die Erfindung Anwendung wenn die Komponenten **10, 12** aus Metallen bestehen, die voneinander so verschieden sind, dass das Hakenbildungsphänomen des Strahls auftritt, bei dem der Elektronenstrahl **20** von der Trennfuge **14** weg und in eine der Komponenten **10** hinein abgelenkt wird. Das Ergebnis ist der hakenförmige Teil **24** einer gestrichelt in **Fig. 3** dargestellten Schweißnaht. Der hakenförmige Teil **14** wird mit zunehmender Tiefe der Trennfuge **14** immer ausgeprägter und zwar insbesondere bei Tiefen von 4 inches (etwa 10 cm) und mehr. Bei einem bevorzugten Aspekt der Erfindung wird der hakenförmige Teil **24** in der in **Fig. 3** dargestellten Schweißnaht **16** als Ergebnis der Einwirkung

des oben genannten Magnetfelds nicht ausgebildet, das von den Spulen **30** erzeugt wird, die anschließend an die Trennfuge **14** angeordnet und so ausgerichtet sind, dass sie den Elektronenstrahl **20** in der Weise durch die Trennfuge **14** leiten, dass der Strahl **20** geradgerichtet ist.

[0017] Die Komponenten **10**, **12** in **Fig. 4** können aus unterschiedlichen Materialien bestehen, doch braucht deren Verschiedenheit nicht notwendigerweise zu dem Hakenbildungsphänomen zu führen. Die gebogene oder gewölbte Trennfuge **14** zwischen den Komponenten **10**, **12** macht es erforderlich, dass der Elektronenstrahl sich mit der Trennfuge **14** so krümmt, dass die ganze Trennfuge **14** verschweißt wird. In der Turbinenindustrie gibt es eine Anzahl von verschweißten Komponenten mit ggfs. anwendbaren Geometrien, die von einer Elektronenstrahlschweißung in dieser Art profitieren könnten, wie etwa Dampfturbinendüsenanordnungen (Leitapparate), bei denen Kränze von Statorschaufelblättern in Ringe dadurch eingesetzt sind, dass sie mit jeweils einem Ring an dem Schaufelblattende durch eine tiefe, axialsymmetrische Elektronenstrahlverschweißung (ES; EBW) verschweißt sind. In diesem Falle ist die Komponente **10** der **Fig. 4** ein Teil eines Schaufelblatts, während die Komponente **12** den an das Schaufelblatt angeschweißten Ring andeutet. In jedem Fall sind die Komponenten **10**, **12** über die gesamte Trennfuge **14** miteinander verschweißt, derart, dass die Ausbildung eines Bindefehlers der in **Fig. 1** veranschaulichten Art verhütet ist.

[0018] Wenn auch festgestellt werden kann, dass Magnetspulen beim Elektronenstrahlschweißen häufig anzutreffen sind, so ist doch deren Einsatz bisher auf die Elektronenstrahlschweißmaschine selbst beschränkt, d.h. auf die Kanone **22** in **Fig. 1**, um den Strahl **20** (koaxial) zu fokussieren oder um den Strahl **20** pendeln zu lassen. Im Gegensatz hierzu ordnet die Erfindung eine oder mehrere Spulen, die ein rechtwinklig zu dem Strahl **20** gerichtetes Magnetfeld erzeugen, in unmittelbarer Nähe der Trennfuge **14** an, an der die Schweißnaht **16** auszubilden ist, um so den Strahl **20** örtlich in einer Weise zu verlagern, wie dies für die spezielle Situation erforderlich ist. Die Wirkung der Spule(n) **30** ist in **Fig. 2** veranschaulicht. Es ist bekannt, dass ein Teilchen mit einer Ladung „q“ und einer Geschwindigkeit „V“, das sich in einem Magnetfeld „B“ bewegt, der Einwirkung einer Kraft „F“, der sogenannten Lorentzkraft, ausgesetzt ist. Diese Kraft wirkt rechtwinklig sowohl zu dem Magnetfeld „B“ als auch zu der Geschwindigkeit „V“ des Teilchens. Die Größe und die Richtung der Kraft sind durch das Vektorprodukt $V = qV \times B$ gegeben. Bezugnehmend auf **Fig. 2** erfährt ein Elektron, das sich in der -Y-Richtung durch das in der -Z-Richtung (d.h. rechtwinklig zu der Richtung, in der der Elektronenstrahl **20** durch die Trennfuge **14** verläuft) wirkende Magnetfeld B bewegt, eine in der +X-Richtung wirkende Kraftereinwirkung, die bewirkt, dass das Elektron von seinem vorbestimmten Weg abweicht. In

Fig. 3 sind die Spulen **30** (in der Zeichenebene) dargestellt und erzeugen ein Magnetfeld (rechtwinklig zu der Zeichenebene) das bewirkt, dass die Elektronen in dem Elektronenstrahl **20** zufolge der Lorentzkraft nach rechts abgelenkt werden.

[0019] Dem Fachmann ist bekannt, dass das Maß um das der Elektronenstrahl **20** abgelenkt wird, von der Intensität des Strahls **20** und der Stärke des von einer oder mehreren Spulen **30** erzeugten Magnetfelds B abhängt. Die Ablenkung des durch die Trennfuge **14** laufenden Elektronenstrahls **20** kann durch die Zahl der verwendeten Spulen, z.B. einer Einzelspule **30** oder des in den **Fig. 3, 4** dargestellten Arrays einzelner Spulen **30**, den jeweiligen Umständen angepasst werden. Wird ein Array von Spulen **30** verwendet, so kann jede Spule **30** mittels bekannter Steuersysteme gesteuert werden, so dass die Array so „abgestimmt“ werden kann, dass es ein Magnetfeld B zweckentsprechend sich ändernder Stärke längs der Trennfuge **14** erzeugt, so dass der Strahl **20** unter Berücksichtigung der speziellen Gegebenheiten, einschließlich der speziellen Gestalt der Trennfuge **14**, ordnungsgemäß durch die Trennfuge **14** geleitet wird. Diese Abstimmwirkung kann entweder durch ein trial-and-error Verfahren oder durch eine numerische Nachbildung vorherbestimmt werden. Bei der Ausführungsform nach **Fig. 5** kann eine numerische Nachbildung sich auf ein numerisches Model der Komponenten **10**, **12** und die bekannte Gestalt deren gewölbter Trennfuge **14** stützen, so dass die Spulen **30** dazu verwendet werden können, einen Elektronenstrahl so zu formen, dass er über die Dicke der Komponenten **10**, **12** dem gekrümmten Pfad der Trennfuge **14** folgt.

[0020] Wenngleich die Erfindung anhand einer bevorzugten Ausführungsform beschrieben wurde, so versteht sich doch, dass ein Fachmann auch andere Ausgestaltungen benützen könnte. Deshalb ist der Schutzzumfang der Erfindung lediglich durch die nachfolgenden Patentansprüche beschränkt.

Patentansprüche

1. Elektronenstrahlschweißverfahren, das die folgenden Schritte beinhaltet:
 - Zusammenbringen von Gegenständen (**10**, **12**) unter Ausbildung einer dazwischen liegenden Trennfuge (Schweißstoß) (**14**);
 - Einwirken lassen eines örtlichen Magnetfelds auf wenigstens einen Teil der Trennfuge (**14**); und sodann
 - Leiten eines Elektronenstrahls (**20**) auf die Trennfuge (**14**), um die Gegenstände (**10**, **12**) an der Trennfuge (**14**) miteinander elektronenstrahlzuverschweißen und dabei eine geschweißte Komponente (**32**) zu erzeugen, wobei das örtliche Magnetfeld den Elektronenstrahl (**20**) beim Durchgang durch die Trennfuge (**14**) so leitet, dass die Gegenstände (**10**, **12**) über die gesamte Trennfuge (**14**) miteinander verschweißt werden.

2. Elektronenstrahlschweißverfahren nach Anspruch 1, bei dem die Trennfuge (14) zwischen den Gegenständen (10, 12) gerade ist und das örtliche Magnetfeld den Elektronenstrahl (20) beim Durchgang durch die Trennfuge (14) geradrichtet.

3. Elektronenstrahlschweißverfahren nach Anspruch 12, bei dem die Gegenstände (10, 12) aus voneinander verschiedenen Metallen bestehen und der auf die Trennfuge (14) gerichtete Elektronenstrahl (20) in Abwesenheit des lokalen Magnetfelds von der Trennfuge (14) weg und in einen der Gegenstände (10, 12) hinein abgelenkt würde.

4. Elektronenstrahlschweißverfahren nach Anspruch 1, bei dem die Trennfuge (14) zwischen den Gegenständen (10, 12) gekrümmt oder gewölbt ist und das örtliche Magnetfeld den Elektronenstrahl (20) beim Durchgang durch die Trennfuge (14) krümmt.

5. Elektronenstrahlschweißverfahren nach Anspruch 1, bei dem das örtliche Magnetfeld durch eine nahe der Trennfuge (14) angeordnete einzelne Magnetspule (30) oder durch ein Array unabhängig gesteuerter Spulen (30) zur Einwirkung gebracht wird, die nahe der Trennfuge angeordnet sind.

6. Elektronenstrahlschweißverfahren nach Anspruch 1, bei dem die Trennfuge (14) eine Länge von wenigstens 10 cm in einer Richtung aufweist, in der der Elektronenstrahl (20) durch die Trennfuge (14) verläuft.

7. Elektronenstrahlschweißverfahren nach Anspruch 1, bei dem wenigstens einer der Gegenstände (10, 12) aus einer Superlegierung (superalloy) besteht.

8. Elektronenstrahlschweißverfahren nach Anspruch 1, bei dem jeder der Gegenstände (10, 12) aus einem Stahl besteht.

9. Elektronenstrahlschweißverfahren nach Anspruch 1, bei dem die Komponente (32) eine Turbinenkomponente ist.

10. Komponente (32), die mit dem Elektronenstrahlschweißverfahren nach Anspruch 1 gefertigt wurde.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

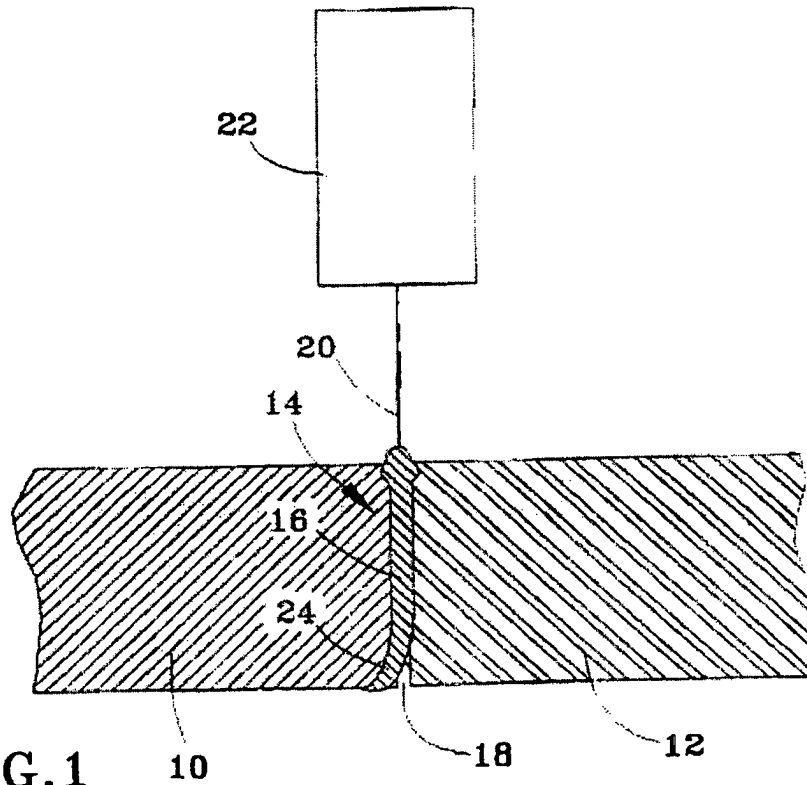


FIG. 1

Stand der Technik

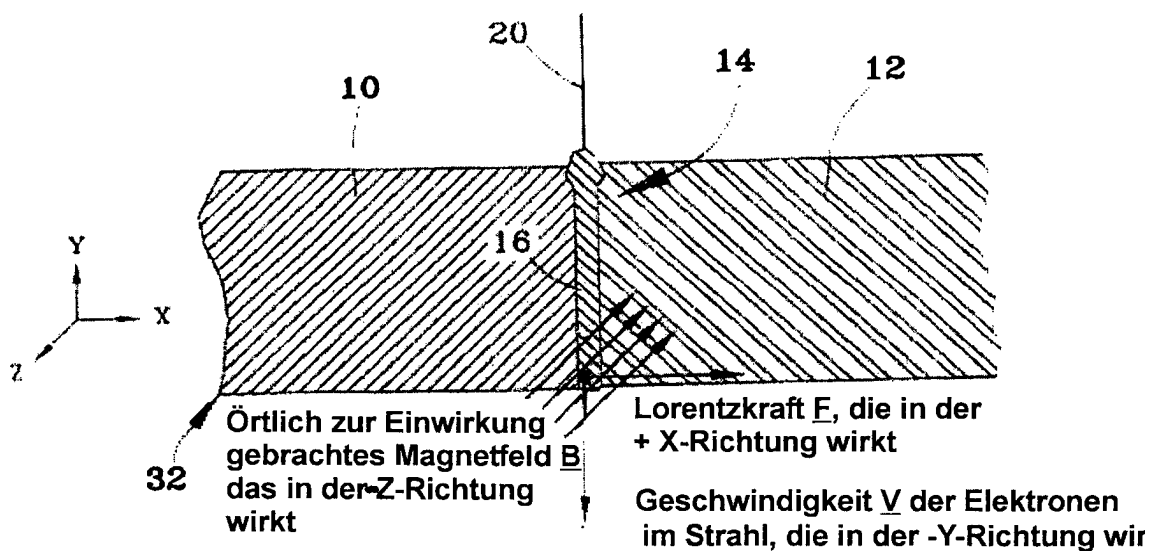


FIG. 2

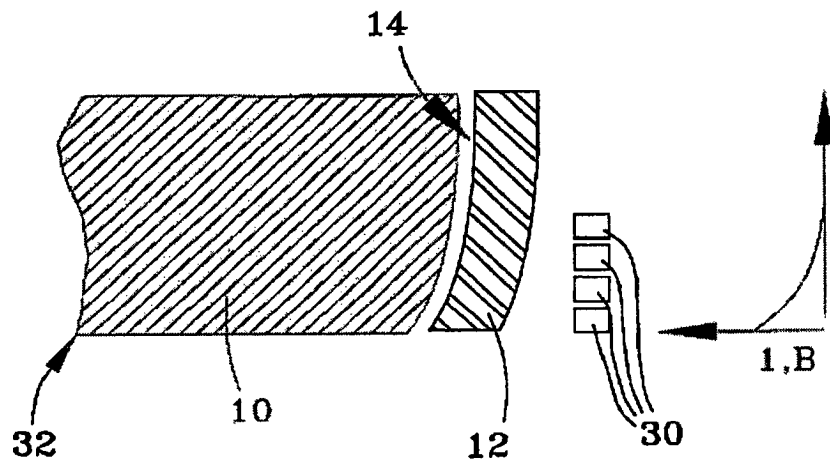
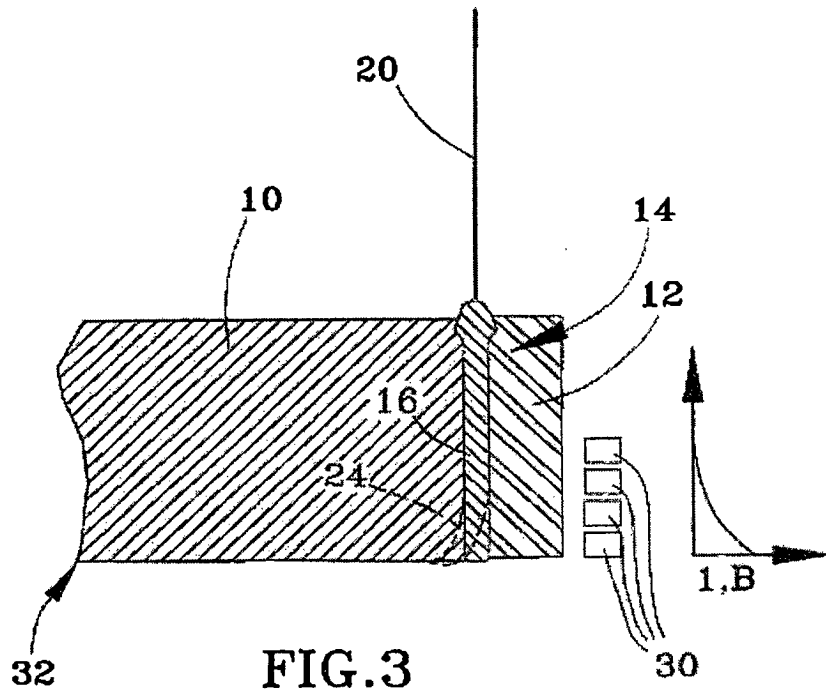


FIG. 4