(19) **Bundesrepublik Deutschland**
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 601 10 312 T2** 2006.01.26

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 162 022 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **601 10 312.2**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 112 917.8**
(96) Europäischer Anmeldetag: **05.06.2001**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **12.12.2001**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **27.04.2005**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **26.01.2006**

(51) Int Cl.[8]: ***B23K 11/02*** (2006.01)
B22F 7/08 (2006.01)
B23P 15/24 (2006.01)
B21D 37/20 (2006.01)
B29C 33/30 (2006.01)
C21D 9/50 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

2000170000	**07.06.2000**	**JP**
2000283127	**19.09.2000**	**JP**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LI, LU, MC, NL, PT, SE, TR

(73) Patentinhaber:
SPS PROCESSING INC., Kawasaki, Kanagawa, JP; Suwanetsu Kogyo Co., Ltd., Suwa, Nagano, JP

(74) Vertreter:
Prinz und Partner GbR, 81241 München

(72) Erfinder:
Tokita, Masao, Minato-ku, JP; Miyasaka, Yoshito, Suwa-shi, JP; Karasawa, Hitoshi, Suwa-shi, JP; Nishiyama, Fumitake, Suwa-shi, JP

(54) Bezeichnung: **Elektrisches Verbindungsverfahren und -vorrichtung**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein elektrisches Verbindungsverfahren und eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens und zur Verbindung mehrerer Elemente gemäß den Oberbegriffen von Anspruch 1 bzw. 10.

[0002] Verschiedene herkömmliche Verfahren werden in der Praxis verwendet, um mehrere gewünschte Elemente zu verbinden. Es gibt einige wohlbekannte Verfahren einschließlich: (1) Schweißen, bei dem zu verbindende Flächen mit einem Brenner, einer Lichtbogenentladung oder dergleichen erhitzt werden und ein das Schweißen unterstützendes Material (d.h. ein Schweißstab) mit denselben oder ähnlichen Materialeigenschaften wie die zu verbindenden Elemente geschmolzen wird, um auf den Elementen abgeschieden zu werden, wodurch das Verbinden erreicht wird; (2) Hartlöten, bei dem im Gegensatz zum Schweißen ein Lot (eine Legierung von Cu, Ag oder dergleichen, oder ein amorphes Metall) verwendet wird, das aus einem von den zu verbindenden Elementen verschiedenen Werkstoff besteht und zwischen den Verbindungsflächen der Elemente in einer inaktiven Atmosphäre wie zum Beispiel einer Vakuumatmosphäre, einer Stickstoff- oder Argonatmosphäre oder dergleichen geschmolzen wird, wodurch diese Elemente mit Hilfe des Lotes miteinander verbunden werden; und (3) Punktschweißen, bei dem relativ dünne Bleche sandwichartig zwischen zwei Elektroden angeordnet werden und durch diese hindurch Strom angelegt wird, um das Verschweißen zu bewirken.

[0003] Wenngleich der oben in Punkt (1) beschriebene Schweißvorgang ein Verfahren zum Eindüsen eines Edelgases wie zum Beispiel Stickstoff oder Argon zu einem erwärmten Abschnitt umfaßt, damit dieser nicht oxidiert wird, da bei diesem Verfahren ein Schweißstab als das das Schweißen unterstützende Material verwendet wird, das längs eines Außenumfangs der Verbindungsflächen auf das Element aufgebracht wird (d.h. um eine Verstärkung zu bilden), wodurch mehrere Elemente verbunden werden können, kann dieses Schweißen nicht eingesetzt werden, wenn die gesamten Oberflächen der Elemente verbunden werden sollen.

[0004] Außerdem hat das Schweißen einige Mängel; dazu zählen: (a) es muß ein das Schweißen unterstützendes Element verwendet werden; (b) es muß im voraus ein gewisses Volumen eines Verbindungsabschnitts eines Elements abgeschnitten werden, damit eine Schweißstabschmelze aufgebracht werden kann; (c) ein geschweißter Abschnitt muß nachbehandelt bzw. bearbeitet werden, weil es unmöglich ist, die geschmolzene Substanz von dem Schweißstab genau auf einen gewünschten Abschnitt aufzubringen; (d) es ist eine Schulung erforderlich, um zu lernen, wie eine Heiz- bzw. Schweißtemperatur so zu regeln ist, daß sich die Metallzusammensetzung eines zu verbindenden Elements nicht ändert; (e) eine Schulung ist auch erforderlich, um eine Kühltemperatur und -geschwindigkeit so zu regeln, daß kein Schweißriß in dem geschweißten Abschnitt entsteht; (f) es würde unweigerlich zu einer resultierenden Wärmeverformung in den Bereichen außer dem verbundenen Abschnitt und zu einer Volumenzunahme des verbundenen Abschnitts kommen; (g) das Verbinden von Elementen aus unterschiedlichen Werkstoffen ist schwierig; und (h) das Verbinden ist wegen einer durch das Schweißen möglicherweise verursachten Änderung der Eigenschaften nicht anwendbar auf ein spezifisches Metall wie zum Beispiel SUS.

[0005] Wenngleich das in Punkt (2) beschriebene Hartlöten insoweit von Vorteil ist, als es mit einem auf die gesamten Verbindungsflächen aufgebrachten dazwischenliegenden Lot arbeitet und das Verbinden bei einer niedrigeren Temperatur als das oben beschriebene Schweißen erfolgen kann, hat es immer noch einige Mängel wie zum Beispiel: (i) es muß ein Lot verwendet werden; (j) die erhaltene Verbindungsfestigkeit ist nicht größer als die Festigkeit des Lotes; (k) nach dem Hartlöten läuft Lot über, und somit muß die Endbearbeitung an dem verbundenen Abschnitt durchgeführt werden; (1) weil Lot überläuft, ist es unmöglich, die Elemente in den gewünschten Bereichen genau zu verbinden; (m) eine Verbindung von gleichmäßigem Aussehen ist schwer zu erreichen; (n) die Festigkeit der Verbindung wird insbesondere im Außenumfang, aus dem das Lot wahrscheinlich herausläuft, nicht gleichmäßig sein; und (o) einige Metalle wie zum Beispiel Edelstahl (SUS) lassen sich nicht verbinden.

[0006] Wenngleich auch ferner das oben in Punkt (3) beschriebene Punktschweißen innerhalb kurzer Zeit zwischen den beiden Elektroden Wärmeenergie erzeugen kann und damit schmale Bereiche innerhalb kurzer Zeit verbunden werden können, hat es immer noch Mängel wie zum Beispiel: (p) es kann nur ein Element aus einem dünnen plattenartigen Material verbunden werden; (q) die Verformung nach dem Schweißen ist groß; (r) es kann ein extrem kleiner Bereich geschweißt werden, weil es zum teilweisen Schweißen kommt; und (s) die Verformung nach dem Schweißen ist beträchtlich, weil es zum teilweisen Schweißen kommt.

[0007] Darüber hinaus sind die obengenannten Verbindungsverfahren nur auf den Verbindungsvorgang zwischen Metallelementen anwendbar und eignen sich nicht zum Verbinden eines Metallelements mit einem Nichtmetallelement oder zum Verbinden von Nichtmetallelementen.

[0008] Dagegen wurde ein weiteres Verbindungs-

verfahren vorgeschlagen, das mit dem Prinzip des Warmpreßverbindens arbeitet, bei dem ein Gleichstrom an die unter einem vorbestimmten Druck zu verbindenden Elemente angelegt wird, so daß das Verbinden erfolgt; und es ist ein Funkenplasma-Sinterverfahren (SPS-Verfahren) bekannt, bei dem ein gepulster Gleichstrom an Elemente angelegt wird, um dadurch das Verbinden zu erreichen, aber ein mit der SPS-Technologie arbeitendes Verbindungsverfahren ist insoweit von Nachteil, als die zu verbindenden Elemente in einer Form aus Graphit angeordnet und in der Form verbunden werden müssen, was das Verfahren zu kompliziert macht. Ferner unterliegt die Form der Elemente, die verbunden werden können, vielen Einschränkungen, und außerdem läßt sich keine ausreichend starke Verbindung erhalten. Es ist ein weiteres nach dem Prinzip des Funkenplasma-Sinterverfahrens arbeitendes Verbindungsverfahren bekannt, das in der offengelegten Japanischen Patentanmeldung Nr. Hei 11-158514 offenbart ist. Dieses Verfahren hat jedoch ebenfalls einige Nachteile, da es nur auf Elemente mit rauhen Oberflächen anwendbar ist, was bedeutet, daß die Oberflächen zum Verbinden vorgerauht werden müssen, wodurch das Verfahren nur eingeschränkt einsatzfähig ist und zum Beispiel auf Hochglanzflächen und dergleichen nicht anwendbar ist und es schwierig macht, eine ausreichend starke Verbindung zu erhalten. Selbst wenn das herkömmliche Warmpreßverbindungsverfahren auf das Verbinden von voluminösen Elementen ohne jegliche Modifikationen angewandt wird, ist es weiterhin schwierig, eine ausreichend starke Verbindung zu erhalten.

[0009] Die JP-A-6/142942 bildet den am nächsten kommenden Stand der Technik. Dieses Dokument lehrt das Verbinden von metallischem Sintermaterial. Dazu hat eine der Verbindungsflächen Vorsprünge, die sich zu der anderen Verbindungsfläche hin erstrecken. Die zu verbindenden Teile werden zusammengepreßt, während an die Teile ein Strom angelegt wird. Die Vorsprünge werden infolge ihres elektrischen Widerstands geschmolzen. Nach diesem Schweißschritt werden die Teile wärmebehandelt, um ihre Härte und die Festigkeit der Verbindung zu verbessern.

[0010] Eine Widerstandsschweißmaschine und ein Metallbehandlungsverfahren werden in der US-A-2,276,354 vorgeschlagen.

[0011] Ein Verfahren zum Anschweißen von Enden eines Stahldrahtes an ein angrenzendes Ende ist aus der US-A-3,818,173 bekannt. Ein Schweißstrom zum Erwärmen der beiden Enden auf Schweißtemperatur wird an den Stahldraht angelegt. Gleichzeitig wird auf die zu verbindenden Teile ein Druck ausgeübt.

[0012] Die US-A-4,366,361 offenbart ein Verfahren zum Herstellen einer Bürste für eine elektrische Dynamomaschine. Bei dem Verfahren wird ein Heizstrom durch einen Pulverpreßkörper des Bürstenmaterials und ein mit dem Pulverpreßkörper in elektrischem Kontakt stehendes leitfähiges Element geleitet, um den Preßkörper zu sintern und das leitfähige Element mit dem Preßkörper zu verbinden.

[0013] Die FR-A-1,335,300 beschreibt ein Verfahren zum Befestigen eines gebrannten Abschnitts an einem Element aus Metall. Eine Bodenplatte aus elektrisch isolierendem Material enthält ein Loch, in das ein Metallpulver eingeleitet wird, bevor das Element aus Metall in das Loch eingesetzt wird. Nachdem ein elektrischer Strom an das Pulver angelegt wurde, wird das Pulver gebrannt und an dem Element aus Metall befestigt.

[0014] Die JP 11/123567 A lehrt das Widerstandsschweißen zwischen Teilen aus einer Titanlegierung.

[0015] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein neues Verfahren und eine neue Vorrichtung zum elektrischen Verbinden bereitzustellen, womit die obengenannten mit dem Stand der Technik verbundenen Mängel überwunden werden können, während gleichzeitig die Technologie des impulsgesteuerten Sinterverfahrens wie zum Beispiel eines Funkenplasma-Sinterfahrens (SPS-Verfahrens) genutzt wird, und außerdem eine Einheit von nach diesem Verfahren und mit dieser Vorrichtung verbundenen Elementen bereitzustellen.

[0016] Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum elektrischen Verbinden bereitzustellen, womit eine rasche und starre Verbindung in Verbindungsbereichen erreicht werden kann, indem zumindest entweder ein Gleichstrom oder ein gepulster Strom an mehrere miteinander zu verbindende Elemente angelegt wird, und außerdem eine Einheit von nach diesem Verfahren und mit dieser Vorrichtung verbundenen Elementen bereitzustellen.

[0017] Noch eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren und eine Vorrichtung zum elektrischen Verbinden bereitzustellen, womit eine leichte und starre Verbindung sogar zwischen Elementen aus jeweils unterschiedlichen Werkstoffen durchgeführt werden kann, und außerdem eine Einheit von nach diesem Verfahren und mit dieser Vorrichtung verbundenen Elementen bereitzustellen.

[0018] Noch eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum elektrischen Verbinden bereitzustellen, womit nicht nur Metallelemente verbunden werden können, sondern auch eine Verbindung zwischen einem Metallelement und einem Nichtmetallelement oder zwischen Nichtmetallelementen möglich ist, und außerdem eine Einheit von nach diesem Verfahren und mit

dieser Vorrichtung verbundenen Elementen bereitzustellen.

[0019] Noch eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum elektrischen Verbinden bereitzustellen, womit das Verbindungsverfahren relativ leicht und zuverlässig sogar auf die Verbindung zwischen Verbindungsflächen mit voneinander verschiedenen Formen angewandt werden kann, und außerdem eine Einheit von nach diesem Verfahren und mit dieser Vorrichtung verbundenen Elementen bereitzustellen.

[0020] Noch eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum elektrischen Verbinden bereitzustellen, womit das Verbinden bei minimaler Verformung nach dem Verbinden durchgeführt werden kann, und außerdem eine Einheit von nach diesem Verfahren und mit dieser Vorrichtung verbundenen Elementen bereitzustellen.

[0021] Diese Aufgaben werden gelöst mit einem Verfahren nach Anspruch 1 und einer Vorrichtung nach Anspruch 10.

[0022] Ein elektrisches Verbindungsverfahren gemäß der vorliegenden Erfindung umfaßt die folgenden Schritte: Die Verbindungsflächen mehrerer zu verbindender Elemente werden so positioniert, daß sie aneinanderstoßen, ohne daß eine Form aus Graphit verwendet wird; ein gepulster Strom wird an die Elemente angelegt, während ein Druck in einer gewünschten Höhe auf die Elemente aufgebracht wird, um sie vorübergehend zu verbinden; und die vorübergehend verbundenen Elemente werden bei einer gewünschten Temperatur einer Wärmebehandlung mit wechselseitiger Diffusion unterzogen.

[0023] Bei dem elektrischen Verbindungsverfahren können die Verbindungsflächen Hochglanzflächen oder rauhe Oberflächen sein. Ferner können die mehreren Elemente im Wesentlichen aus demselben Werkstoff oder aus unterschiedlichen Werkstoffen bestehen. Des weiteren können bei dem elektrischen Verbindungsverfahren drei oder mehr Stücke der zu verbindenden Elemente in einer Reihe angeordnet werden, so daß sie an mehreren Paaren von Verbindungsflächen verbunden werden können. Weiterhin kann bei dem elektrischen Verbindungsverfahren der auf die Elemente aufgebrachte Druck nicht mehr als 50 Megapascal (MPa) betragen, kann die Wärmebehandlung in einer inaktiven Atmosphäre durchgeführt werden und kann die Wärmebehandlung so durchgeführt werden, daß die Temperatur auf höchstens 85% des niedrigsten Schmelzpunkts der zu verbindenden Elemente geregelt wird. Außerdem kann ein Fixierstift verwendet werden, um die Lagegenauigkeit der Verbindungsflächen zu verbessern.

[0024] Eine weitere in der vorliegenden Anmeldung offenbarte Erfindung stellt eine elektrische Verbindungsvorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens bereit, um mehrere miteinander zu verbindende Elemente an ihren jeweiligen Verbindungsflächen zu verbinden, wobei die Vorrichtung folgendes umfaßt: eine elektrische Verbindungsvorrichtung mit zwei stromführenden Elektroden, die mit den Elementen so in Kontakt geraten können, daß sie an diese einen Strom anlegen, einer an die beiden Erregerelektroden angeschlossenen Stromversorgung zur Beaufschlagung der Erregerelektroden mit einem gepulsten Strom, und einer Druckbeaufschlagungseinheit, mit der jede der beiden Elektroden gegen die Verbindungsflächen gedrückt wird, wobei die beiden Elemente sandwichartig zwischen den Erregerelektroden angeordnet sind und mit mindestens dem Gleichstrom oder dem gepulsten Strom von der Stromversorgung unter einem gewünschten Druck beaufschlagt werden, um so ohne Verwendung einer Form aus Graphit verbunden zu werden; und Durchführung einer Wärmebehandlung mit wechselseitiger Diffusion der verbundenen Elemente in einer gewünschten Atmosphäre und bei einer gewünschten Temperatur, wobei die Vorrichtung ferner eine Edelgaszuführungsquelle umfassen kann, die zur Zuführung von Edelgas in die Wärmebehandlungsvorrichtung mit dieser gekoppelt ist.

[0025] Fig. 1 ist eine perspektivische Ansicht von zwei Elementen, die durch ein elektrisches Verbindungsverfahren gemäß der vorliegenden Erfindung zu verbinden sind;

[0026] Fig. 2 ist eine Seitenansicht zur Veranschaulichung einer konzeptionellen Konfiguration einer elektrischen Verbindungsvorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0027] **Fig.** 3(A) und (B) sind perspektivische Ansichten, in denen bei den Ausführungsformen 1 bzw. 2 gemäß der vorliegenden Erfindung zu verbindende Rundstäbe veranschaulicht sind;

[0028] **Fig.** 4(A), (B), (C) und (D) sind perspektivische Ansichten beispielhafter Anwendungen eines elektrischen Verbindungsverfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0029] Fig. 5 ist eine perspektivische Ansicht eines Formwerkzeugs für Kunststoffzahnräder, das durch ein elektrisches Verbindungsverfahren gemäß der vorliegenden Erfindung gebildet wird;

[0030] Fig. 6 ist eine perspektivische Ansicht zur Veranschaulichung der jeweiligen Elemente des Formwerkzeugs von Fig. 5 im auseinandergenommenen Zustand, wobei die relative Positionierung von Nuten, Durchgangslöchern und in den jeweiligen Elementen ausgebildeten Verbindungskanälen dar-

gestellt ist;

[0031] Fig. 7 ist eine Seitenansicht einer alternativen elektrischen Verbindungsvorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung; und

[0032] Fig. 8 ist eine Querschnittsansicht längs der Linie A-A von Fig. 7, in der eine Anordnung von Elementen auf einer Erregerelektrode veranschaulicht ist.

[0033] Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden nun anhand der beigefügten Zeichnungen beschrieben.

[0034] Zunächst werden bei dieser Ausführungsform zwei zu verbindende Elemente **1** und **3** (nachfolgend der Einfachheit halber als ein Element bezeichnet) hergestellt, wie in Fig. 1 gezeigt. Diese beiden Elemente können aus demselben Werkstoff oder aus unterschiedlichen Werkstoffen bestehen. Die zu verbindenden Flächen der jeweiligen Elemente **1** und **3**, d.h. die Verbindungsflächen **2** und **4**, sind vorzugsweise flach, können aber zum Beispiel gekrümmte Flächen mit derselben Krümmung sein, solange zwischen den Flächen kein Zwischenraum entsteht. Diese Verbindungsflächen **2** und **4** können rauh sein (mit einer Oberflächenrauhigkeit in der Größenordnung der Klasse O gemäß JIS (Japanische Industrienorm)), aber Hochglanzflächen werden mehr bevorzugt, weil die Verbindungsfestigkeit für zwei Elemente größer sein wird, und die aus einer solchen Verbindung resultierende Verformung wird bei Anwendung auf Hochglanzflächen geringer sein.

[0035] Dann werden die Elemente **1** und **3** so aufeinandergelegt, daß diese Verbindungsflächen **2** und **4** aneinanderstoßen, und die Elemente **1** und **3** werden zwischen zwei Erregerelektroden einer elektrischen Verbindungsvorrichtung **10** positioniert. Die elektrische Verbindungsvorrichtung **10** umfaßt bei dieser Ausführungsform einen elektrischen Verbindungsabschnitt **11** und einen Wärmebehandlungsabschnitt **21**. Der elektrische Verbindungsabschnitt **11** umfaßt folgendes: eine untere Erregerelektrode **13**, die auf bekannte Weise über ein Isolierelement an einer Basis **12** befestigt ist, um von der Basis **12** elektrisch isoliert zu sein; einen über der Basis **12** angeordneten und auf bekannte Weise in bezug auf die Basis **12** befestigten Fluiddruckzylinder **14**; und eine obere Erregerelektrode **16**, die auf bekannte Weise über ein Isolierelement an dem Ende (dem unteren Endabschnitt in der dargestellten Zeichnung) einer Kolbenstange **15** des Fluiddruckzylinders **14** befestigt ist, um von der Kolbenstange **15** elektrisch isoliert zu sein. Vorzugsweise bestehen die Elektroden **13** und **16** aus Graphit.

[0036] Der Fluiddruckzylinder **14** funktioniert als Druckbeaufschlagungsvorrichtung zum Zusammendrücken der zu verbindenden Elemente. Um die Funktion der Druckbeaufschlagungsvorrichtung zu erfüllen, kann die obere Erregerelektrode mit Hilfe eines Elektromotors in Verbindung mit einem Schraubmechanismus anstelle des Fluiddruckzylinders **14** auf und ab bewegt werden. Die obere und die untere Erregerelektrode sind mit einer Stromversorgung **17** elektrisch verbunden.

[0037] Die Stromversorgung kann einen gepulsten Gleichstrom liefern. Die Stromversorgung **17** umfaßt einen inneren Schaltmechanismus (nicht dargestellt) zum Verbinden und Trennen des elektrischen Stromkreises zwischen der Stromversorgung und den Erregerelektroden. Die Stromversorgung wird im allgemeinen so sein, daß sie eine Spannung von maximal 100 V und eine Stromstärke von beispielsweise bis zu 2000 bis 5000 A liefert. Wenngleich bei der obigen Ausführungsform die untere Elektrode unbeweglich befestigt ist, während sich die obere Elektrode bewegen kann, können jene Elektroden auch in umgekehrter Ausrichtung angeordnet sein, oder beide können sich bewegen. Vorzugsweise kann der Wärmebehandlungsabschnitt **21** ein Vakuum-Wärmebehandlungsofen mit einer bekannten Ausgestaltung sein. Ein solcher Vakuum-Wärmebehandlungsofen kann zum Beispiel der Ofen mit der Modell-Nr. VTTC-324T oder NVFC-180PT von Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co. Ltd. (IHI) sein. Alternativ können der elektrische Verbindungsabschnitt **11** und der Wärmebehandlungsabschnitt **21** so integriert sein, daß ihr Aufbau eine Bewegung erlaubt, oder sie können getrennt voneinander angeordnet sein.

[0038] Wenn die Elemente **1** und **3** durch die Vorrichtung verbunden werden sollen, werden zunächst die Elemente **1** und **3** zwischen den Elektroden **13** und **16** angeordnet, wobei ihre Verbindungsflächen **2** und **4** aneinanderstoßen, und dann wird der Fluiddruckzylinder **14** aktiviert, um die Erregerelektrode **16** mit der Kolbenstange **15** in Richtung zu den Elementen **1** und **3** zu drücken. Dadurch werden die beiden Elektroden **13** und **16** sandwichartig auf der Basis **12** angeordnet, und die Kolbenstange **15** wird bewegt, um einen Druck auf die Elemente auszuüben, so daß die beiden Elemente **1** und **3** in Richtung zu den jeweiligen Verbindungsflächen geschoben werden. Diese Kompressionskraft wird je nach dem Werkstoff des Elements entsprechend gesteuert, kann aber maximal 50 Megapascal betragen. Wenn der von der Stromversorgung **17** gelieferte gepulste Gleichstrom in gewünschter Höhe über die Erregerelektroden **13** und **16** an die Elemente **1** und **3** angelegt wird, während diese unter der Kompressionskraft gehalten werden, werden die beiden Elemente an den Verbindungsflächen **2** und **4** miteinander verbunden.

[0039] Wenngleich der Mechanismus für dieses Verbindungsverfahren nicht unbedingt im einzelnen

ersichtlich wird, ist davon auszugehen, daß das Verbinden durch die zwischen den Verbindungsflächen erzeugten Plasmen, den Effekt der Wärmediffusion infolge der Jouleschen Wärme, den Effekt der elektrochemischen Diffusion infolge des elektromagnetischen Feldes und dergleichen stattfindet. Wenn ein Gleichstrom und ein gepulster Strom gleichzeitig an die Elemente **1** und **3** angelegt werden, können die beiden Elemente **1** und **3** an den Verbindungsflächen **2** und **4** miteinander verbunden werden. Die Verbindung zwischen beiden Elementen ist in diesem Zustand unter dem Gesichtspunkt der Verbindungsfestigkeit noch nicht vollständig. Infolgedessen wird dieser Zustand der Verbindung als vorübergehende Verbindung bezeichnet, und die vorübergehend verbundenen Elemente werden kollektiv als eine vorübergehend verbundene Einheit bezeichnet.

[0040] Die aus den vorübergehend verbundenen Elementen **1** und **3** bestehende vorübergehend verbundene Einheit wird in dem Wärmebehandlungsofen **22** des Wärmebehandlungsabschnitts **21** wärmebehandelt. Das den Wärmebehandlungsabschnitt **21** bildende Innere des Ofens **22** kann mit Hilfe eines Atmosphärensteuerungssystems **23** mit bekannter Struktur und Funktionsweise so gesteuert werden, daß es eine inaktive Atmosphäre enthält. Die zur Durchführung dieser Wärmebehandlung erforderliche Temperatur und Zeit richtet sich nach dem Werkstoff und der Größe der Elemente. Durch diese Wärmebehandlung wird die Verbindung zwischen den vorübergehend verbundenen Verbindungsflächen vollständig, so daß es eine vollständig verbundene Einheit mit einer der Festigkeit des Werkstoffs der Elemente entsprechenden Verbindungsfestigkeit wird. Wie oben beschrieben, steht der gepulste Strom oder die Kombination aus dem Gleichstrom und dem gepulsten Strom als der Strom zur Verfügung, der bei dem Verbindungsverfahren und der Verbindungsvorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung verwendet wird, die dann als Verfahren und Vorrichtung zum impulsgesteuerten Verbinden bezeichnet werden könnten.

Beispiel 1

[0041] Zwei Rundstäbe **1a** und **3a** aus SUS304 (Edelstahl), die gemäß **Fig. 3[A]** jeweils im Querschnitt gesehen eine kreisrunde Form mit einem Durchmesser von 20 mm und eine Länge von 90 mm haben, wurden hergestellt, und nachdem jede ihrer Verbindungsflächen **2a** und **4a** zu einer Hochglanzfläche bearbeitet wurde, wurden sie in die oben beschriebene elektrische Verbindungsvorrichtung **10** eingesetzt. Dann wurde ein gepulster Gleichstrom mit einer Spannung im Bereich von 3 bis 5 V, zum Beispiel 3,2 V in diesem Beispiel 1, und einer Stromstärke im Bereich von 1000 bis 2000 A, zum Beispiel 1850 A in diesem Beispiel 1, von der Stromversorgung über die Erregerelektroden für eine Dauer im Bereich von 10 bis 30 Minuten, zum Beispiel 12 Minuten in diesem Beispiel 1, an jene Rundstäbe angelegt, um sie vorübergehend zu verbinden. Dann wurden die vorübergehend verbundenen Rundstäbe einer Wärmebehandlung mit wechselseitiger Diffusion in der inaktiven Atmosphäre bei einer Temperatur im Bereich von 1000 bis 1100°C, zum Beispiel 1080°C, für eine Dauer im Bereich von 30 bis 90 Minuten, zum Beispiel 60 Minuten in diesem Beispiel 1, unterzogen. Die Einheit aus verbundenen Rundstäben wurde nach Abschluß der Wärmebehandlung so geschliffen, daß ihr mittlerer Abschnitt den durchschnittlichen Durchmesser von 15,05 mm haben könnte, und wurde der Zugfestigkeitsprüfung mit einer Meßlänge von 40 mm unterzogen. Das Ergebnis der Zugfestigkeitsprüfung liefert eine resultierende Länge von 52,0 nun, eine Dehnung von 30% und eine Zugfestigkeit von 551 N/mm^2. Diese Werte für die Zugfestigkeit entsprechen vergleichsweise fast jenen, die man mit einem einzigen Stück des Elements aus demselben Werkstoff und mit derselben Größe erhält.

Beispiel 2

[0042] Zwei Rundstäbe **1b** und **3b** aus SKD61 (legierter Werkzeugstahl), die gemäß **Fig. 3[B]** jeweils im Querschnitt gesehen eine kreisrunde Form mit einem Durchmesser von 20 mm und eine Länge von 90 mm haben, wurden hergestellt, und nachdem jede ihrer Verbindungsflächen **2b** und **4b** zu einer Hochglanzfläche bearbeitet wurde, wurden sie in die oben beschriebene impulsgesteuerte Verbindungsvorrichtung **10** eingesetzt. Dann wurde ein gepulster Gleichstrom mit einer Spannung im Bereich von 3 bis 5 V, zum Beispiel 3,6 V in diesem Beispiel 2, und einer Stromstärke im Bereich von 1000 bis 2000 A, zum Beispiel 1680 A in diesem Beispiel 2, von der Stromversorgung über die Erregerelektroden für eine Dauer im Bereich von 10 bis 30 Minuten, zum Beispiel 15 Minuten in diesem Beispiel 2, an jene Rundstäbe angelegt, um sie vorübergehend zu verbinden. Dann wurden die vorübergehend verbundenen Rundstäbe einer Wärmebehandlung mit wechselseitiger Diffusion in der inaktiven Atmosphäre bei einer Temperatur im Bereich von 1000 bis 1100°C, zum Beispiel 1025°C, für eine Dauer im Bereich von 30 bis 90 Minuten, zum Beispiel 60 Minuten in diesem Beispiel 2, unterzogen, und danach wurden sie fertiggeglüht. Die Einheit aus verbundenen Rundstäben wurde nach Abschluß der Wärmebehandlung so geschliffen, daß ihr mittlerer Abschnitt den durchschnittlichen Durchmesser von 15,05 mm haben könnte, und wurde der Zugfestigkeitsprüfung mit einer Meßlänge von 40 mm unterzogen. Das Ergebnis der Zugfestigkeitsprüfung liefert eine resultierende Länge von 46,7 mm, eine Dehnung von 16,8% und eine Zugfestigkeit von 695 N/mm^2. Diese Werte für die Zugfestigkeit entsprechen vergleichsweise fast jenen, die man mit einem einzigen Stück des Elements aus demselben Werkstoff und mit derselben Größe erhält.

Beispiel, das nicht Bestandteil der Erfindung ist.

[0043] Analog zu Beispiel 2 wurden zwei Rundstäbe **1b** und **3b** aus SKD61 (legierter Werkzeugstahl) hergestellt, die gemäß Fig. 3[B] jeweils im Querschnitt gesehen eine kreisrunde Form mit einem Durchmesser von 20 mm und eine Länge von 90 mm haben, und nachdem jede ihrer Verbindungsflächen **2b** und **4b** zu einer Hochglanzfläche bearbeitet wurde, wurden sie in die oben beschriebene elektrische Verbindungsvorrichtung **10** eingesetzt. Dann wurde ein Gleichstrom mit einer Spannung im Bereich von 5 bis 10 V, zum Beispiel 5,4 V in diesem Beispiel, und einer Stromstärke im Bereich von 800 bis 2000 A, zum Beispiel 1450 A in diesem Beispiel, von der Stromversorgung über die Erregerelektroden für eine Dauer im Bereich von 60 bis 120 Minuten, zum Beispiel 60 Minuten in diesem Beispiel, an jene Rundstäbe angelegt, um sie vorübergehend zu verbinden. Dann wurden die vorübergehend verbundenen Rundstäbe einer Wärmebehandlung mit wechselseitiger Diffusion in der inaktiven Atmosphäre bei einer Temperatur im Bereich von 1000 bis 1100°C, zum Beispiel 1025°C, für eine Dauer im Bereich von 30 bis 90 Minuten, zum Beispiel 60 Minuten in diesem Beispiel, unterzogen, und danach wurden sie fertiggeglüht. Die Einheit aus verbundenen Rundstäben wurde nach Abschluß der Wärmebehandlung so geschliffen, daß ihr mittlerer Abschnitt den durchschnittlichen Durchmesser von 15,05 mm haben könnte, und wurde der Zugfestigkeitsprüfung mit einer Meßlänge von 40 mm unterzogen. Das Ergebnis der Zugfestigkeitsprüfung liefert eine resultierende Länge von 44,6 mm, eine Dehnung von 11,5% und eine Zugfestigkeit von 685 N/mm^2. Diese Werte für die Zugfestigkeit entsprechen vergleichsweise fast jenen, die man mit einem einzigen Stück des Elements aus demselben Werkstoff und mit derselben Größe erhält.

Beispiel 3

[0044] Analog zu Beispiel 2 wurden zwei Rundstäbe **1b** und **3b** aus SKD61 (legierter Werkzeugstahl) hergestellt, die gemäß Fig. 3[B] jeweils im Querschnitt gesehen eine kreisrunde Form mit einem Durchmesser von 20 mm und eine Länge von 90 mm haben, und nachdem jede ihrer Verbindungsflächen **2b** und **4b** zu einer Hochglanzfläche bearbeitet wurde, wurden sie in die oben beschriebene elektrische Verbindungsvorrichtung **10** eingesetzt. Dann wurde ein Gleichstrom mit einer Spannung im Bereich von 5 bis 10 V, zum Beispiel 5,4 V in diesem Beispiel 3, und einer Stromstärke im Bereich von 800 bis 2000 A, zum Beispiel 1450 A in diesem Beispiel 3, und ein gepulster Strom mit einer Stromstärke im Bereich von 500 bis 1000 A, zum Beispiel 800 A in diesem Beispiel 3, von der Stromversorgung über die Erregerelektroden für eine Dauer im Bereich von 10 bis 25 Minuten, zum Beispiel 20 Minuten in diesem Beispiel 3, an jene Rundstäbe angelegt, um sie vorübergehend zu verbinden. Dann wurden die vorübergehend verbundenen Rundstäbe einer Wärmebehandlung mit wechselseitiger Diffusion in der inaktiven Atmosphäre bei einer Temperatur im Bereich von 1000 bis 1100°C, zum Beispiel 1025°C, für eine Dauer im Bereich von 30 bis 90 Minuten, zum Beispiel 60 Minuten in diesem Beispiel 3, unterzogen, und danach wurden sie fertiggeglüht. Die Einheit aus verbundenen Rundstäben wurde nach Abschluß der Wärmebehandlung so geschliffen, daß ihr mittlerer Abschnitt den durchschnittlichen Durchmesser von 15,05 mm haben könnte, und wurde der Zugfestigkeitsprüfung mit einer Meßlänge von 40 mm unterzogen. Das Ergebnis der Zugfestigkeitsprüfung liefert eine resultierende Länge von 45,8 mm, eine Dehnung von 14,5% und eine Zugfestigkeit von 690 N/mm^2. Diese Werte für die Zugfestigkeit entsprechen vergleichsweise fast jenen, die man mit einem einzigen Stück des Elements aus demselben Werkstoff und mit derselben Größe erhält.

[0045] Bei dem obigen elektrischen Verbindungsverfahren, bei dem nur der gepulste Strom oder sowohl gepulster Strom als auch Gleichstrom zur Durchführung des Verbindungsverfahrens angelegt werden, ist das Verbinden nicht nur möglich zwischen den Stabelementen mit derselben Querschnittsfläche und aus demselben Werkstoff wie anhand der obigen Beispiele beschrieben, sondern auch zwischen Metallelementen aus unterschiedlichen Werkstoffen, zum Beispiel zwischen einem Element aus SKD61 und einem Element aus Aluminiumlegierung, zwischen einem Element aus SUS304 und einem Element aus SUS420J2, zwischen einem Element aus Kupferlegierung und einem Element aus SUS420J2, und zwischen einem Element aus SKH51 (Schnellarbeitswerkzeugstahl) und einem Element aus SKD61, und ferner zwischen einem Metallelement und einem Nichtmetallelement oder zwischen Nichtmetallelementen, ohne daß dazu das Schweißen unterstützende Materialien oder Lote verwendet werden.

[0046] Wenn Elemente aus unterschiedlichen Werkstoffen, zum Beispiel aus Metall und Keramik oder Kunststoff, nach dem vorliegenden Verbindungsverfahren verbunden werden, wird ein Element mit Gradientenfunktionalität (d.h. allmähliche Veränderung der Eigenschaften des Elements von einer Seite des Elements zur anderen) zwischen den Elementen positioniert.

[0047] Ferner wurde das Verbinden möglich gemacht zwischen zwei Elementen **1c** und **3c**, die bei versetzter Anordnung gemäß Fig. 4[A] in der Draufsicht dieselbe Form haben, und auch zwischen zwei Elementen **1d** und **3d**, die in der Draufsicht gemäß Fig. 4[B] unterschiedliche Formen haben. Des weiteren wurde das Verbinden möglich gemacht zwischen drei Elementen **1e**, **3e** und **5e**, die bei versetzter Anordnung in der Draufsicht dieselbe Form haben, d.h.

das Verbinden kann bei mehreren Paaren von Verbindungsflächen jeweils zwischen den Verbindungsflächen **2e** und **6e** und zwischen den Verbindungsflächen **7e** und **4e** stattfinden, wie in Fig. 4[C] gezeigt. Außerdem können gemäß Fig. 4[D] mehrere Elemente **3f** und **5f** von beliebiger Form (in diesem Beispiel Viertel eines zylindrischen Elements **1f**) auf der Verbindungsfläche **2f** des Elements **1f** verbunden werden. Wenn alle Elemente aus demselben Werkstoff bestehen, erlaubt das obige Verfahren in diesem Fall die Fertigung von Teilen mit komplizierten Formen ohne schwierige mechanische Bearbeitung. Wenn die Elemente **1f 3f** und **5f** bei dem obigen Verfahren verbunden werden, gibt es insbesondere keine in der Umgebung der Verbindungsflächen erzeugte Rundung, aber wenn die Formen gemäß Fig. 4[D] mit Hilfe der mechanischen Bearbeitung entstehen, entsteht wegen der dem Werkzeug innewohnenden Eigenschaften unweigerlich eine Rundung in dem bearbeiteten Bereich. Es ist überflüssig zu sagen, daß die obigen Elemente genauso verbunden werden können, wenn nur der Gleichstrom angelegt wird.

[0048] Die Fig. 5 und Fig. 6 zeigen eine Ausführungsform für den Fall, wo ein spezifisches Produkt, d.h. ein Formwerkzeug für Kunststoffzahnräder, nach dem Verbindungsverfahren der vorliegenden Erfindung gefertigt wird. Bei dieser Ausführungsform werden mehrere Elemente (vier bei dieser Ausführungsform) hergestellt, die zuvor unterteilt wurden, damit darin Kühlmittelkanäle gebildet werden können, um Kühlmittel in das Formwerkzeug einzuleiten, und werden nach Bildung der Kühlmittelkanäle mit dem Verbindungsverfahren gemäß der vorliegenden Erfindung verbunden. Auf diese Weise wird ein integriertes Grundmaterial für das Formwerkzeug gebildet, und dieses Grundmaterial wird dann mechanisch bearbeitet, um ein Formwerkzeug zu bilden.

[0049] Das Grundmaterial für das Kunststofformwerkzeug **100** umfaßt vier Elemente **110**, **120**, **130** und **140**, die aus SKD61 bestehen und eine zylindrische oder scheibenartige Form haben. Eine Fläche **111** (die Oberseite in Fig. 6) des untersten Elements **110** (in Fig. 5) wurde flach bearbeitet (vorzugsweise zu einer Hochglanzfläche) und hat eine darin ausgebildete Ringnut **113**, die um die axiale Mitte des Elements zentriert ist. Außerdem wurden die Flächen **121** und **131** in einer Seite (die Oberseiten in Fig. 6) der mittleren Elemente **120** und **130** jeweils flach bearbeitet (vorzugsweise zu Hochglanzflächen) und haben darin ausgebildete Ringnuten **123** und **133**, die jeweils um die axiale Mitte der Elemente zentriert sind. Ferner wurden auch die Unterseite **142** (in Fig. 6) des obersten Elements **140** (in Fig. 5) und die Flächen in der anderen Seite (die Unterseiten in Fig. 6) der mittleren Elemente **120** und **130** flach bearbeitet (vorzugsweise zu Hochglanzflächen). Diese Nuten **113**, **123** und **133** wurden jeweils auf einem Kreis ausgebildet, der dieselbe Größe und einen Mittelpunkt auf der Achsmittellinie der Elemente hat.

[0050] Jedes der Elemente **110**, **120**, **130** und **140** hat zwei Aufnahmebohrungen **116**, **126**, **136** und **146**, die diametral voneinander beabstandet sind. Diese Aufnahmebohrungen wurden so angeordnet, daß sie zueinander ausgerichtet sind, und jede der paarweise angeordneten Aufnahmebohrungen **126** und **136** ist so ausgebildet, daß sie eine Durchgangsbohrung darstellt. Jede der Aufnahmebohrungen **116** des Elements **110** erstreckt sich von der Oberseite **111** in eine vorbestimmte Tiefe nach unten. Weiterhin erstreckt sich jede der Aufnahmebohrungen **146** des Elements **140** von der Unterseite **142** in eine vorbestimmte Tiefe nach oben. Die Fixierstifte (nicht dargestellt) sollen darin eingesetzt werden, um die vier Elemente in Position zu bringen.

[0051] Die beiden oberen Elemente **130** und **140** (in Fig. 5) haben jeweils vier Durchgangsbohrungen **137** bzw. **147**, die in Umfangsrichtung gleich weit voneinander beabstandet sind und sich durch die Elemente erstrecken. In der Oberseite **131** des Elements **130** wurden Verbindungskanäle **138** ausgebildet, die sich in radialer Richtung von der Ringnut **133** erstrecken, um eine Verbindung zwischen der Ringnut **133** und den zwei Durchgangsbohrungen **137** von den vier Durchgangsbohrungen **137** herzustellen, wobei die zwei Bohrungen **137** diametral voneinander beabstandet sind (in der horizontalen Richtung in Fig. 6). Das Element **120** hat zwei Durchgangsbohrungen **127**, die diametral voneinander beabstandet sind (in der horizontalen Richtung in Fig. 6) und sich durch das Element erstrecken. In der Oberseite **121** des Elements **120** sind Verbindungskanäle **28** ausgebildet, die sich in radialer Richtung von der Ringnut **123** erstrecken, um eine Verbindung zwischen der in der Oberseite **121** ausgebildeten Ringnut **123** und den Öffnungsenden der verbleibenden zwei Durchgangsbohrungen **137** der vier Durchgangsbohrungen **137** in der Seite der Unterseite **132** herzustellen, wobei die verbleibenden zwei Bohrungen **137** diametral voneinander beabstandet sind (in der vertikalen Richtung in Fig. 6). In der Oberseite **111** des Elements **110** sind Verbindungskanäle **118** ausgebildet, die sich in radialer Richtung von der Ringnut **113** erstrecken, um mit den zwei Durchgangsbohrungen **127** zu kommunizieren, die in die Unterseite **122** des Elements **120** münden (wobei die beiden Bohrungen in der horizontalen Richtung in Fig. 6 voneinander beabstandet sind).

[0052] Die Elemente **110**, **120**, **130** und **140**, die gemäß obiger Beschreibung zuvor mechanisch bearbeitet wurden, werden gemäß Fig. 5 aufeinander angeordnet und durch die Fixierstifte (nicht dargestellt) und die Aufnahmebohrungen **116**, **126**, **136**, **146** in Position gebracht, und dann werden diese Elemente durch das oben beschriebene elektrische Verbindungsverfahren, bei dem der gepulste Strom oder die

Kombination aus gepulstem Strom und Gleichstrom daran angelegt wird, zu einer integrierten Einheit miteinander verbunden, um das für das Formwerkzeug verwendete Grundmaterial **100** zu bilden. Hierin sind in dem Grundmaterial für ein Formwerkzeug die Kühlmittelkanäle aus der Vielzahl von Ringnuten **113**, **123** und **133**, den Durchgangsbohrungen **127**, **137** und **147** und den Verbindungskanälen **118**, **128** und **138** gebildet. Eine Durchgangsbohrung ist in dem mittleren Abschnitt des Grundmaterials **100** für das Formwerkzeug (auf der Innenseite der Ringnuten in radialer Richtung, um der Nut nicht in die Quere zu kommen) ausgebildet, und ein Kernelement zur Bildung eines zum Formen von Kunststoff notwendigen Hohlraums (des Hohlraums, in den das Kunststoffmaterial eingespritzt wird) ist in die in einem Formwerkzeug auszubildende Durchgangsbohrung eingepaßt. Es sei angemerkt, daß auf die Erläuterung der Verfahren zur Verarbeitung des Grundmaterials für das Formwerkzeug zu dem tatsächlichen Formwerkzeug verzichtet wird, weil diese Verfahren keine direkte Relevanz für die vorliegende Erfindung haben. Wenn die Einheit als Formwerkzeug verwendet wird, fließt das Kühlmittel von außen in die Kühlmittelkanäle in dem Formwerkzeug, wie durch die Pfeile angedeutet, um dadurch das Formwerkzeug für Kunststoffzahnräder zu kühlen. Der durch die Pfeile → angedeutete Kühlmittelstrom verläuft durch die Ringnut **123**, um diesen Bereich zu kühlen, während der durch die Pfeile ⇒ angedeutete Kühlmittelstrom durch die Ringnuten **113** und **133** verläuft, um jenen Bereich zu kühlen. Es sei angemerkt, daß bei der obigen Ausführungsform die Ringnut und der Verbindungskanal zwar nur in einer der beiden miteinander zu verbindenden Flächen ausgebildet wurden, diese aber in jeder Verbindungsfläche plansymmetrisch ausgebildet werden können, so daß diese beiden getrennten Teile zu einem Kanal verbunden werden. Ferner ist die Form der Nut in der Draufsicht nicht auf die bei der obigen Ausführungsform dargestellte kreisrunde Form beschränkt, sondern es ist eine große Vielzahl von Formen möglich.

[0053] Wenngleich bei der in Fig. 1 und Fig. 2 dargestellten elektrischen Verbindungsvorrichtung der elektrische Verbindungsabschnitt **11** den gepulsten Strom an mehrere Elemente angelegt hat, um daraus eine vorübergehend verbundene Einheit zu bilden, und dann das einzige Stück der vorübergehend verbundenen Einheit durch den Wärmebehandlungsabschnitt **21** wärmebehandelt wurde, um daraus eine vollständig verbundene Einheit zu bilden, können mehrere vorübergehend verbundene Einheiten in einer Gruppe im Rahmen eines Chargenbetriebs wärmebehandelt werden. Wenn die zu verbindenden Elemente relativ klein sind und einer Massenproduktion unterliegen, können ferner die Erregerelektroden **13g** und **16g** dahingehend modifiziert werden, daß sie ein plattenartiges Element (kreisrundes oder polygonales Element) mit einer größeren Querschnittsfläche als in Fig. 7 und Fig. 8 gezeigt haben, und mehrere paarweise Elemente **1** und **3** können zwischen diesen Elektroden angeordnet werden, so daß die mehreren paarweise angeordneten Elemente gleichzeitig verbunden werden können.

[0054] Wie aus der obigen Beschreibung hervorgeht, kann die vorliegende Erfindung auf verschiedene Arten des Verbindens angewandt werden, einschließlich des Verbindens eines Substrats für eine integrierte Schaltung mit einem Kühlelement aus Metall, des Verbindens eines ultraharten Metalls mit einem normalen Metall, des Verbindens eines Elements aus Aluminium oder dergleichen mit einem korrosionsbeständigen oder verschleißfesten Element, des Verbindens von Nocken in mehreren Reihen, des Verbindens eines Zahnrads mit einem Ritzel und des Verbindens einer Welle mit einem Zahnrad.

[0055] Gemäß der vorliegenden Erfindung ist zu erwarten, daß die folgenden Wirkungen erreichbar sind.

(a) Das Verbinden ist möglich ohne Verwendung von das Schweißen unterstützenden Materialien.
(b) Das Verbinden erfolgt über die gesamte Verbindungsfläche und auch gleichmäßig über die gesamte Fläche.
(c) Das Verbinden erfolgt durch einfache Bearbeitung einer Verbindungsfläche in einen flachen Zustand.
(d) Die Verbindungsfestigkeit kann erhöht werden durch Verbessern der Flachheit einer Verbindungsfläche.
(e) Die Verbindungsfestigkeit wird dahingehend verbessert, daß sie der Verbindungsfestigkeit des Werkstoffs des zu verbindenden Metallelements gleich gemacht wird.
(f) Das Verbinden kann unter lediglich einer geringen Verformung erfolgen.
(g) Eine Nachbehandlung wie zum Beispiel das Herausschleifen des das Schweißen unterstützenden Materials oder des Lotes ist in einem Bereich in der Nähe eines verbundenen Abschnitts nicht erforderlich.
(h) Das Verbinden in der genauen Lage ist möglich.
(i) Das Verbinden feiner Teile ist leicht durchzuführen.
(j) Da ein zu verbindendes Element verbunden werden kann, nachdem es zu einem fertigen Teil geformt wurde, kann ein Produkt mit einer komplizierten Form durch das Verbindungsverfahren zusammengesetzt werden.
(k) Das Verbinden ist möglich, ohne die Eigenschaften eines zu verbindenden Elements zu beeinträchtigen.
(l) Elemente aus unterschiedlichen Werkstoffen können leicht miteinander verbunden werden.
(m) Das Verbinden ist möglich unter einer entsprechenden Temperaturregelung der von den

Verbindungsabschnitten verschiedenen Abschnitte.
(n) Es können mehrere Elemente unterschiedlicher Form in einem einzigen Vorgang verbunden werden.

Patentansprüche

1. Elektrisches Verbindungsverfahren mit den folgenden Schritten: Verbindungsflächen (**2**, **4**; **2a**-e, **4a**-e) mehrerer zu verbindender Elemente (**1**, **3**; **110**, **120**, **130**, **140**) werden so positioniert, daß die Flächen (**2**, **4**; **2a**-e, **4a**-e) aneinanderstoßen, ohne daß eine Form aus Graphit verwendet wird; **dadurch gekennzeichnet**, daß
ein gepulster Strom an die Elemente (**1**, **3**; **110**, **120**, **130**, **140**) angelegt wird, während ein Druck in einer gewünschten Höhe auf die Elemente aufgebracht wird, um die Elemente (**1**, **3**; **110**, **120**, **130**, **140**) so zu verbinden, daß die erhaltene Verbindung nicht ihre volle Verbindungsfestigkeit erreicht; und
die verbundenen Elemente (**1**, **3**; **110**, **120**, **130**, **140**) bei einer gewünschten Temperatur und in einer gewünschten Atmosphäre einer Wärmebehandlung mit wechselseitiger Diffusion unterzogen werden, so daß die Verbindung ihre volle Festigkeit erreicht, die der Festigkeit des Werkstoffs der Elemente entspricht.

2. Elektrisches Verbindungsverfahren nach Anspruch 1, bei dem die Verbindungsflächen (**2**, **4**; **2a**-e, **4a**-e) Hochglanzflächen sind.

3. Elektrisches Verbindungsverfahren nach Anspruch 1, bei dem die Verbindungsflächen (**2**, **4**; **2a**-e, **4a**-e) rauhe Flächen sind.

4. Elektrisches Verbindungsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die mehreren Elemente (**1**, **3**; **110**, **120**, **130**, **140**) im wesentlichen aus demselben Werkstoff bestehen.

5. Elektrisches Verbindungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem die mehreren Elemente (**1**, **3**; **110**, **120**, **130**, **140**) im wesentlichen aus unterschiedlichen Werkstoffen bestehen.

6. Elektrisches Verbindungsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, das ferner den Schritt umfaßt, bei dem drei oder mehr Stücke der zu verbindenden Elemente (**110**, **120**, **130**, **140**) in einer Reihe positioniert werden, so daß die Stücke an mehreren Paaren von Verbindungsflächen verbunden werden.

7. Elektrisches Verbindungsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der auf die Elemente (**1**, **3**; **110**, **120**, **130**, **140**) aufgebrachte Druck so gesteuert wird, daß er höchstens 50 MPa beträgt.

8. Elektrisches Verbindungsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Wärmebehandlung in einer inaktiven Atmosphäre durchgeführt wird.

9. Elektrisches Verbindungsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Wärmebehandlung innerhalb eines Temperaturbereichs durchgeführt wird, der so gesteuert wird, daß die Temperatur höchstens 85% des niedrigsten Schmelzpunkts der zu verbindenden Elemente (**1**, **3**; **110**, **120**, **130**, **140**) beträgt.

10. Elektrische Verbindungsvorrichtung (**10**) zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9 und zur Verbindung mehrerer zu verbindender Elemente (**1**, **3**; **110**, **120**, **130**, **140**) an deren Verbindungsflächen (**2**, **4**; **2a**-e, **4a**-e) ohne eine Form aus Graphit, wobei die Vorrichtung folgendes umfaßt:
einen elektrischen Verbindungsabschnitt (**11**) mit zwei stromführenden Elektroden (**13**, **16**; **13g**, **16g**), die mit den Elementen (**1**, **3**; **110**, **120**, **130**, **140**) so in Kontakt geraten können, daß sie an diese einen Strom anlegen, einer an die beiden Erregerelektroden (**13**, **16**; **13g**, **16g**) angeschlossenen Stromversorgung (**17**) zur Beaufschlagung der Erregerelektroden (**13**, **16**; **13g**, **16g**) mit einem Strom, einer Druckbeaufschlagungseinheit, mit der jede der beiden Elektroden (**13**, **16**; **13g**, **16g**) gegen die Verbindungsflächen (**2**, **4**; **2a**-e, **4a**-e) gedrückt wird, wobei die mehreren Elemente (**1**, **3**; **110**, **120**, **130**, **140**) im Gebrauch sandwichartig zwischen den Erregerelektroden (**13**, **16**; **13g**, **16g**) angeordnet sind;
einen Wärmebehandlungsabschnitt (**21**);
dadurch gekennzeichnet, daß
die Stromversorgung (**17**) so ausgelegt ist, daß sie den Erregerelektroden (**13**, **16**; **13g**, **16g**) einen gepulsten Strom zuführt,
wobei die mehreren Elemente (**1**, **3**; **110**, **120**, **130**, **140**) im Gebrauch sandwichartig zwischen den Erregerelektroden (**13**, **16**; **13g**, **16g**) angeordnet sind und bei einem gewünschten Druck mit einem gepulsten Strom oder einer Kombination aus einem Gleichstrom und einem gepulsten Strom von der Stromversorgung (**17**) beaufschlagt werden, damit die Elemente verbunden werden, ohne die volle Verbindungsfestigkeit zu erreichen; und
der Wärmebehandlungsabschnitt (**21**) zur Durchführung einer Wärmebehandlung mit wechselseitiger Diffusion der verbundenen Elemente (**1**, **3**; **110**, **120**, **130**, **140**) bei einer gewünschten Temperatur und in einer gewünschten Atmosphäre vorgesehen ist, so daß die Verbindung ihre volle Festigkeit erreicht, die der Festigkeit des Werkstoffs der Elemente (**1**, **3**; **110**, **120**, **130**, **140**) entspricht.

11. Elektrische Verbindungsvorrichtung nach Anspruch 10, die ferner eine Edelgaszuführungsquelle umfaßt, die zur Zuführung eines Edelgases in den

Wärmebehandlungsabschnitt (**21**) mit diesem gekoppelt ist.

12. Elektrische Verbindungsvorrichtung (**10**) nach Anspruch 10, bei der der Spannungswert des gepulsten Stroms oder einer Kombination aus einem Gleichstrom und einem gepulsten Strom höchstens 100 V beträgt, wobei der Stromwert bis zu 2000 bis 5000 A beträgt.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

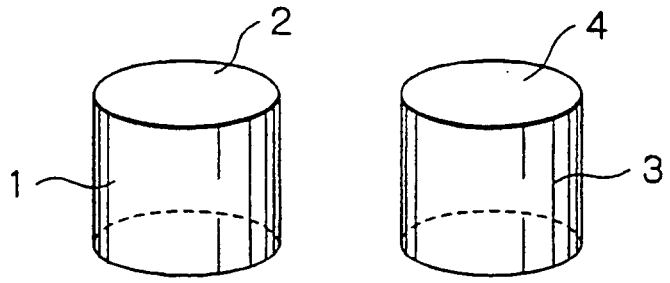

Fig. 2

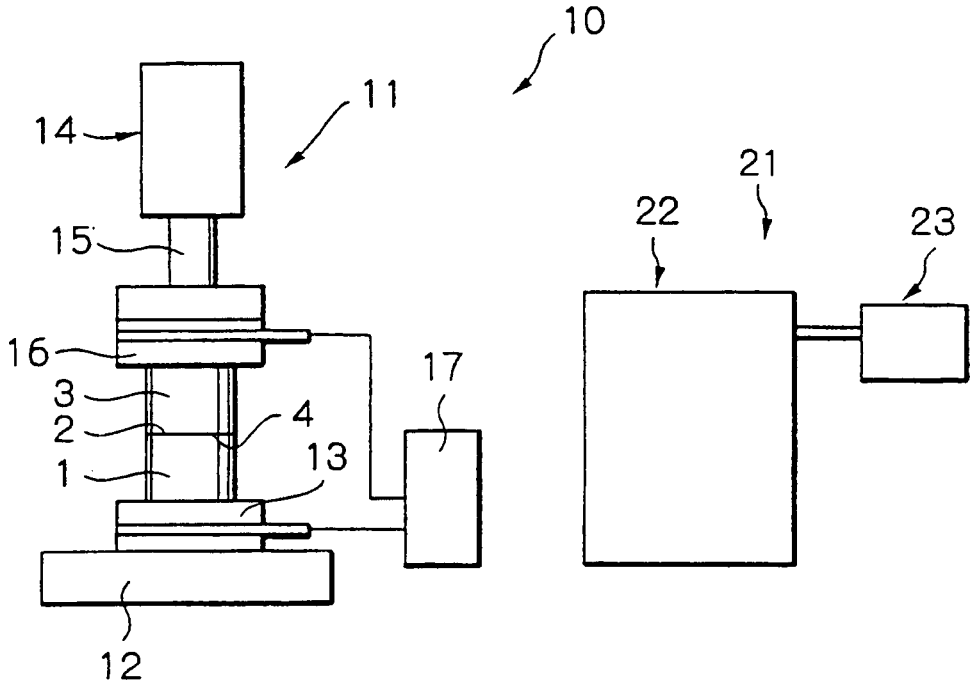

Fig. 3

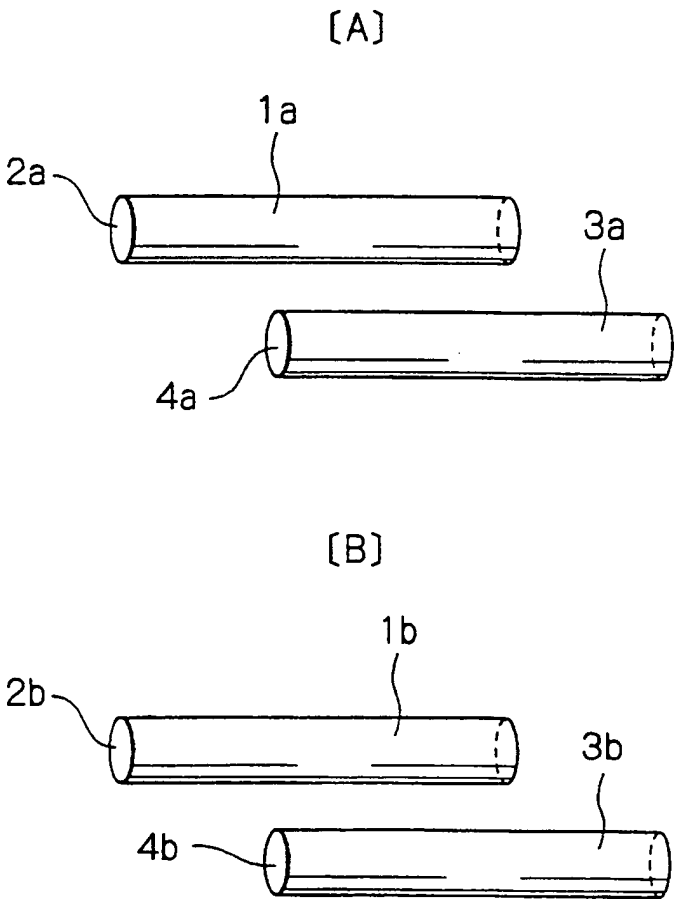

Fig. 4

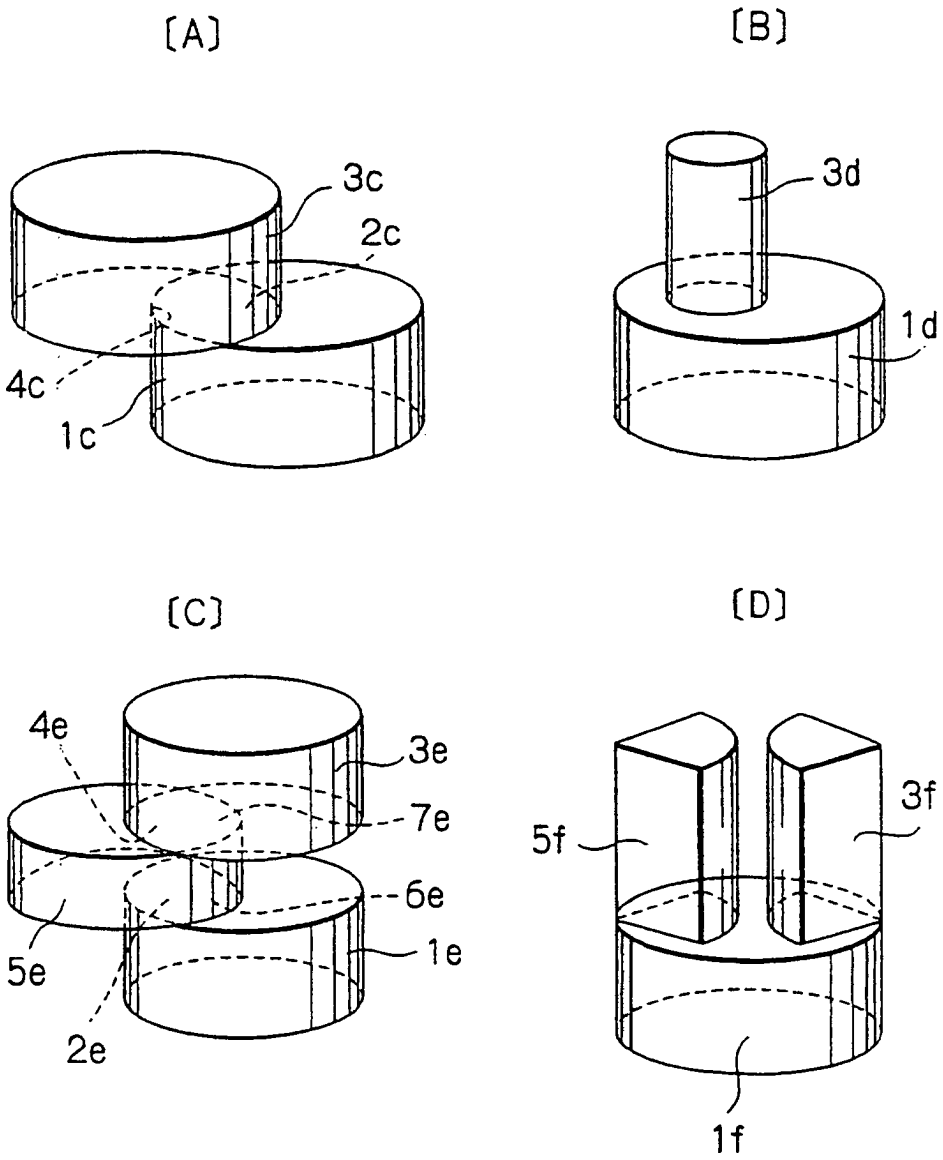

Fig. 5

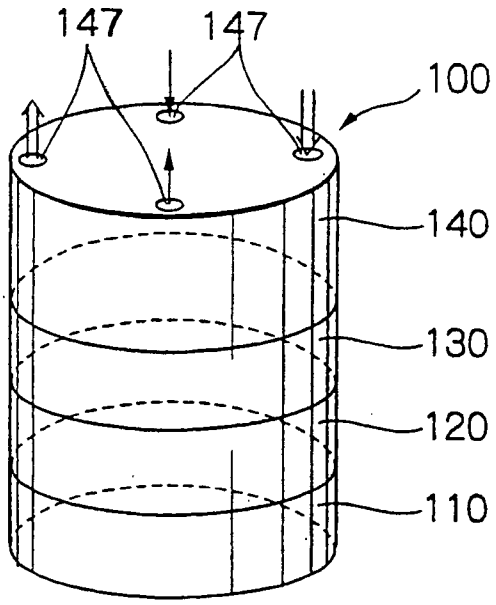
147
147
100
140
130
120
110

Fig. 6

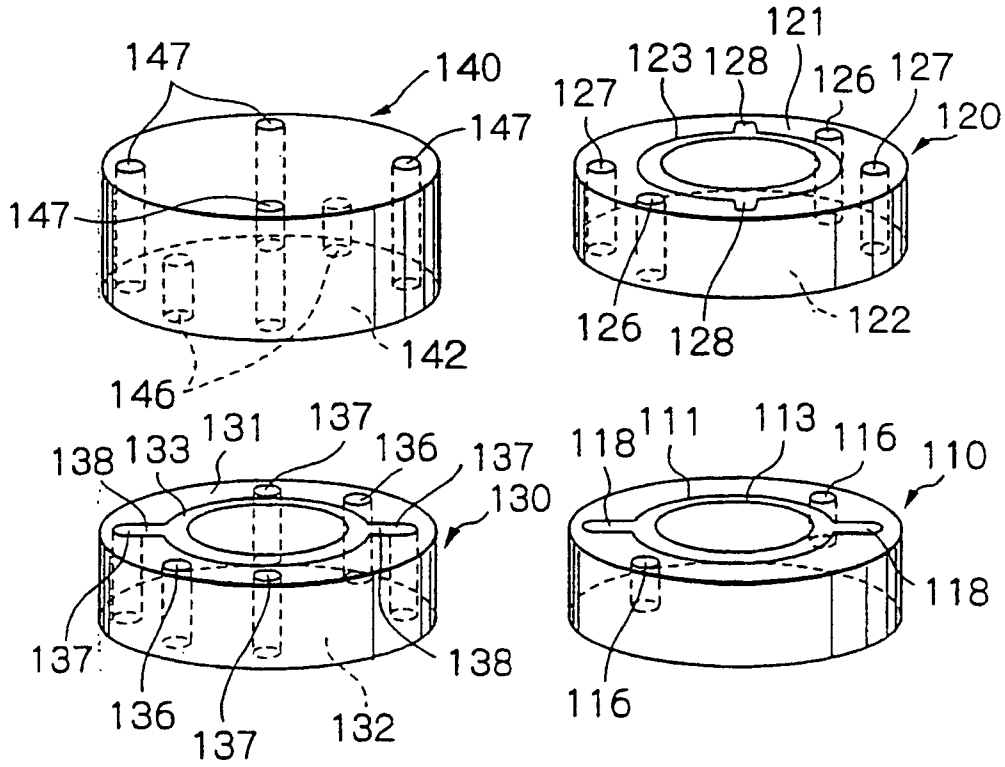
147
140
147
147
142
146
121
123
128
126
127
127
120
126
128
122
137
131
137
136
137
138
133
130
137
138
136
137
132
118
111
113
116
110
118
116

Fig. 7

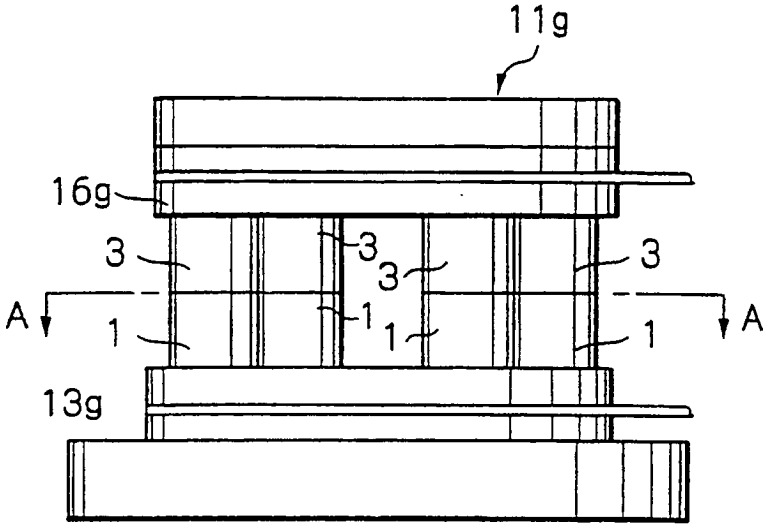

Fig. 8

