

①9



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑤1 Int. Cl.³: F 16 B

4/00

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978



⑫ PATENTSCHRIFT A5

630 148

②1 Gesuchsnummer: 8507/78

②2 Anmeldungsdatum: 10.08.1978

②4 Patent erteilt: 28.05.1982

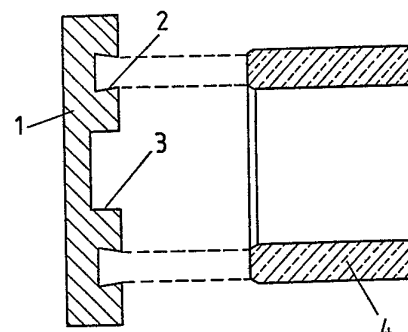
④5 Patentschrift
veröffentlicht: 28.05.1982

⑦3 Inhaber:
BBC Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie.,
Baden

⑦2 Erfinder:
Dr. Keith Melton, Busslingen
Dr. Olivier Mercier, Ennetbaden
Peter Taiana, Neuenhof

⑤4 Verfahren zum Verbinden von Bauelementen.

⑤7 Die Verbindung besteht aus einem Nuten und Absetzungen aufweisenden Verbindungselement (1) aus einer Gedächtnislegierung und mindestens einem weiteren metallischen oder nichtmetallischen Bauelement (4), insbesondere einem Hohlkörper.



PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Herstellung einer festen und dichten Verbindung von Bauelementen mittels Verbindungselementen, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein aus einer Gedächtnislegierung bestehendes und mit Nuten und/oder Absetzungen versehenes metallisches Verbindungselement vorgesehen ist, und dass die Verbindung zum benachbarten Bauelement durch einen auf dem Gedächtniseffekt beruhenden Schrumpfungsprozess der entsprechend vorgeformten Nuten oder Absetzungen bewerkstelligt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als Gedächtnislegierung eine Legierung auf der Basis von Cu/Zn/Al mit Nickelzusatz oder eine Legierung auf der Basis von Ti/Ni/Cu verwendet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als Gedächtnislegierung eine Legierung mit 2 % Ni, 6 % Al, 20,5 bis 22 % Zn, Rest Cu verwendet wird.

4. Verbindung hergestellt nach dem Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die zu verbindenden Bauelemente aus Metallen oder Legierungen bestehen.

5. Verbindung, hergestellt nach dem Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eines der zu verbindenden Bauelemente aus einem Kunststoff oder aus einem Keramikstoff besteht.

6. Verbindung nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass das aus einer Gedächtnislegierung bestehende Verbindungselement mit schwalbenschwanzförmigen umlaufenden Nuten versehen ist.

7. Verbindung nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass das aus einer Gedächtnislegierung bestehende Verbindungselement eine scheibenförmige Gestalt hat, aus einer vollen Platte oder einem dünnwandigen Blechkörper besteht und mindestens auf einer ihrer Stirnseiten mit einer umlaufenden Nut oder Absetzung versehen ist.

8. Verbindung nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass das aus einer Gedächtnislegierung bestehende Verbindungselement ein Hohlkörper ist, welcher mindestens auf einer seiner Stirnseiten mit einer umlaufenden Nut, Absetzung, Hinterfräsung oder Hinterdrehung versehen ist.

9. Verbindung nach Anspruch 6, 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass die radiale Breite der Nut des aus einer Gedächtnislegierung bestehenden Verbindungselements gegenüber dem zu verbindenden Bauelement ein Untermass von mindestens 2 % und höchstens 8 % aufweist.

10. Verbindung nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Verbindungselemente und/oder die Bauelemente zentralsymmetrisch sind und quadratischen, sechseckigen, achteckigen oder kreisförmigen Querschnitt aufweisen.

11. Verbindung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das mit dem aus einer Gedächtnislegierung bestehenden Verbindungselement zu verbindende Bauelement ein Keramikrohr ist.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer festen und dichten Verbindung von Bauelementen mittels Verbindungselementen.

In der physikalischen Technik und technischen Physik sind zahlreiche Methoden zum Verbinden von Bauteilen bekannt. Handelt es sich um metallische Körper, so können diese in vielen Fällen in einfacher Weise mittels Löten, Schweißen oder Warmaufziehen und nachfolgendem Schrumpfen zu festen, dichten, mehr oder weniger monolithischen Werkstücken verbunden werden. Sollen dagegen nichtmetallische Gegenstände wie Keramik-, Kunststoff- oder Cermet-Körper mit metallischen Bautei-

len oder unter sich verbunden werden, ergeben sich in der Regel Schwierigkeiten. Unter den besonders heiklen Verbindungsarten zwischen keramischen und metallischen Bauelementen sind vor allem Hartlötverfahren mittels geeigneter Legierungen bekannt (z. B. G. M. Slaughter, «Ceramics and graphite», Kapitel 24, S. 237–242 in *Brazing Manual*, American Welding Society, New York 1963; D. A. Canonico, N. C. Cole and G. M. Slaughter, «Direct brazing of ceramics, graphite and refractory metals», *Welding Journal*, August 1977). Die hierzu verwendeten Hartlote müssen die Oberflächen der zu verbindenden Gegenstände in ausreichendem Mass benetzen, um eine innige und dichte Verbindung zu gewährleisten.

Die angeführten konventionellen Verfahren zur Herstellung von Keramik/Metall-Verbindungen zeichnen sich insbesondere dadurch aus, dass sie verhältnismässig hohe Temperaturdifferenzen der an der gesamten Konstruktion beteiligten Materialien bedingen. Da die Wärmeausdehnungskoeffizienten von Metallen und Keramikstoffen sehr unterschiedlich sind, können, vor allem bei komplizierten Formen, beträchtliche Spannungen auftreten, die zu Rissen während der Fertigung oder im Betrieb führen können. Vielfach muss dabei zu teuren Konstruktionen wie schichtweisem Aufbau der Verbindung Zuflucht genommen werden, um die Spannungen in erträglichen Grenzen zu halten. Die üblicherweise verwendeten Hartlote verlangen Temperaturen von 1000° C und mehr und die Prozesse müssen meist in aufwendigen Apparaturen unter Schutzgas oder Vakuum durchgeführt werden. Im Falle von Verbindungen mittels Schrumpfsitzen müssen die metallischen Bauelemente auf eine Temperatur von mehreren Hundert °C aufgeheizt werden, um in Anbetracht des kleinen Wärmedehnungskoeffizienten die notwendige Dehnung für das Zusammenfügen zu erweichen. Dabei werden dieser Methode einerseits durch die Warmfestigkeit des metallischen, andererseits durch die Temperaturwechselbeständigkeit des keramischen Werkstoffes Grenzen gesetzt. Dies führt entweder zu Verbindungen ungenügender Festigkeit und Dichtigkeit oder zu Rissen im keramischen Teil. Es besteht daher in der Fachwelt ein berechtigtes Bedürfnis nach einer festen, dichten und einfach herstellbaren Verbindung.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Herstellung einer festen, insbesondere gas- und vakuumdichten Verbindung von Bauteilen, insbesondere aus keramischen Stoffen unter sich oder zusammen mit metallischen Körpern anzugeben, welches sich unter Vermeidung von grossen Temperaturdifferenzen und hohen absoluten Temperaturen in einfacher Weise ohne grossen apparativen Aufwand durchführen lässt. Es ist ferner Aufgabe der Erfindung, geeignete konstruktive Lösungsmöglichkeiten einer derartigen Verbindung von Bauelementen, welche stark unterschiedliche physikalische Eigenschaften haben können, vorzuschlagen.

Erfindungsgemäss wird diese Aufgabe durch die im kennzeichnenden Teil der Ansprüche 1 und 4 angegebenen Merkmale gelöst.

Der massgebende Leitgedanke der Erfindung besteht darin, einen aus einer Gedächtnislegierung bestehenden metallischen Körper als Verbindungselement zwischen den zu verbindenden Bauteilen oder als eines der Bauteile selbst zu verwenden, dessen Formgedächtniseffekt zur Erzeugung der notwendigen Kontraktions- bzw. Dilatationsspannungen herangezogen wird.

Weitere Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus den durch Figuren näher erläuterten Ausführungsbeispielen. Dabei zeigt:

Fig. 1 einen Schnitt durch ein scheibenförmiges Verbindungselement und ein hohles Bauelement vor dem Zusammenbau;

Fig. 2 einen Schnitt durch ein scheibenförmiges Verbindungselement und ein hohles Bauelement nach dem Zusammenbau;

Fig. 13 einen Schnitt durch ein einseitig abgesetztes scheibenförmiges Verbindungselement;

Fig. 4 einen Schnitt durch ein beidseitig abgesetztes scheibenförmiges Verbindungselement;

Fig. 5 einen Schnitt durch ein als abgesetzter Hohlkörper mit Hinterdrehung und Nut ausgebildetes Verbindungselement;

Fig. 6 einen Schnitt durch ein als abgesetztes Rohr ausgebildetes Verbindungselement;

Fig. 7 ein Diagramm des Korngrößenverlaufes über dem Nickelgehalt für eine Cu/Zn/Al/Ni-Legierung.

In den Fig. 1 und 2 ist je ein aus einer Gedächtnislegierung bestehendes scheibenförmiges Verbindungselement und je ein hohles Bauelement vor und nach dem Zusammenbau dargestellt. Die beiden Figuren erläutern gleichzeitig das Prinzip der Verbindung sowie den Verfahrensablauf zu ihrer Herstellung. 1 stellt eine als Verbindungselement dienende, aus einer Gedächtnislegierung bestehende abgesetzte Scheibe dar, welche auf einer ihrer Stirnseiten mit einer schwalbenschwanzförmigen Nut 2 und einer Eindrehung 3 versehen ist. 4 ist ein Hohlkörper, der beispielsweise aus einem keramischen Werkstoff, einem Kunststoff oder aber aus einem metallischen Stoff bestehen kann. Im vorliegenden Beispiel handelt es sich um Keramikmaterial, dessen Wandstärke gegenüber der Öffnung der schwalbenschwanzförmigen Nut Übermass (z. B. 2–3 %) besitzt. Dadurch wird nach dem Zusammenbau und der entsprechenden Wärmebehandlung eine vakuumdichte Verbindung gewährleistet. 5 stellt die Scheibe aus Gedächtnislegierung nach dem Zusammenbau dar.

Im vorliegenden Ausführungsbeispiel wurde wie folgt verfahren:

In einem induktiv beheizten Graphittiegel wurde unter Argonatmosphäre eine dem β -Sondermessing-Typ angehörende Gedächtnislegierung folgender Zusammensetzung erschmolzen:

Zink	20,5 %
Aluminium:	6 %
Nickel:	2 %
Kupfer:	Rest

Der auf diese Weise hergestellte Walzbarren wurde durch Warmwalzen bei 850°C zu einer Platte von ca. 5 mm Dicke verarbeitet. Anschliessend wurde die Platte während 10 min bei 950°C geglüht, um die β -Struktur zu erhalten und daraufhin sofort in Wasser abgeschreckt. Die Legierung der oben genannten Zusammensetzung weist eine Temperatur M_s der martensitischen Umwandlung von +50°C auf. Aus der Platte wurde eine Scheibe 1 gemäss Fig. 1 herausgedreht, welche folgende Dimensionen aufwies:

Aussendurchmesser:	53 mm
Dicke am Umfang:	4,3 mm
Dicke in der Mitte:	2,3 mm
Tiefe der Eindrehung:	2 mm
Durchmesser der Eindrehung:	34,4 mm
Tiefe der Nut:	2 mm
Radiale Breite der Nut:	
innen:	5,4 mm
ausser:	5,2 mm
Radiale Breite des äusseren Randes:	2 mm

Die schwalbenschwanzförmige Nut 2 wies demzufolge sowohl auf ihrer äusseren wie inneren radialen Begrenzung je eine Konizität von 0,1 mm auf 2 mm axiale Länge auf. Als zu verbindender Hohlkörper 4 aus Keramikmaterial wurde ein dicht gesinterter Aluminiumoxydring, welcher keinerlei spezielle Oberflächenbehandlung erlitten hatte, bereitgestellt. Der zylindrische Ring wies auf der zu verbindenden Stirnseite sowohl an seinem äusseren wie an seinem inneren Umfang unter 45° verlaufende gebrochene Kanten von 1 mm axialer Fasenbreite auf und hatte folgende Abmessungen:

Aussendurchmesser:	49,2 mm
Innendurchmesser:	38,4 mm
Radiale Wandstärke:	5,4 mm
Aximale Breite:	12 mm

Die radiale Wandstärke des Ringes entsprach demnach genau der radialen Breite der Nut im Nutengrund. Die Scheibe 1 und der Ring 4 wurden trocken und ohne Verwendung eines Schmiermittels bei Raumtemperatur (20°C) axial zusammengepresst (siehe Fig. 2). Daraufhin wurde das auf diese Weise hergestellte Werkstück auf 100°C, d. h. über die Umwandlungstemperatur M_s (+ 50°C) hinaus erwärmt, wodurch dank Gedächtniseffekt eine feste Verbindung der Bauelemente gewährleistet wird. Auch bei nachfolgender Abkühlung auf Raumtemperatur erwies sich die Verbindung als mechanisch fest und gasdicht.

Es soll noch darauf hingewiesen werden, dass bei Verwendung einer Gedächtnislegierung auf der Basis eines Sondermessings (Cu/Zn/Al) das Übermass der radialen Wandstärke des Hohlkörpers 4 gegenüber der radialen Breite der Nut der Scheibe 1 an ihrer engsten Stelle (bei Schwalbenschwanzform = Nutöffnung) ca. 3 bis 4 % betragen soll. Dieses Mass entspricht der maximalen für diesen Legierungstyp zulässigen Dehnung für die Gewährleistung des Gedächtniseffekts. Es versteht sich von selbst, dass bei anderer geometrischen Gestaltung der Nut dieses Mass gegebenenfalls auch kleiner gewählt werden kann. Im Falle der nach Fig. 1 vorliegenden Nutform wird die radiale Breite des äusseren und des inneren Randes der Scheibe 1 in vorteilhafter Weise derart abgestimmt, dass die Radialpressung auf jeden der Ringe etwa gleich hoch ausfällt. Max. Übermass für Ti/Ni/Cu = 8 %.

Die Erfindung ist nicht auf die im vorliegenden Beispiel beschriebene Legierung noch auf die angegebenen geometrischen Formen beschränkt. Das Verfahren lässt sich prinzipiell auf alle Gedächtnislegierungen und auch auf andere Profile als solche mit kreisförmigen Querschnitten anwenden. Insbesondere lassen sich auf vorgenannte Weise auch Voll- oder Hohlkörper mit quadratischem, sechseckigem, achteckigem, elliptischem und beliebig anderem Querschnitt mit einer metallischen Platte verbinden. Dabei braucht das zu verbindende Bauelement nicht aus keramischem Material zu bestehen. Es kann auch aus Metallen, Sintermetallen, Cermets, Kunststoffen usw. aufgebaut sein.

Fig. 3 zeigt einen Schnitt durch ein einseitig abgesetztes scheibenförmiges Verbindungselement aus einer Gedächtnislegierung. Die Scheibe 6 weist auf einer ihrer Stirnseiten eine Hinterdrehung 7 auf, deren Innendurchmesser gerade dem Aussendurchmesser des zu verbindenden Hohlkörpers 8 (gestrichelt angedeutet) entspricht. Je nach Werkstoff (Metall, Kunststoff, Keramikmaterial) kann der Hohlkörper 8 gegenüber der Hinterdrehung 7 ein mehr oder weniger grosses Übermass aufweisen. Zusammenbau und Fertigung bzw. Dichtung der Verbindung erfolgen analog dem unter Fig. 1 und 2 beschriebenen Beispiel.

In einem dieser Figur entsprechenden Ausführungsbeispiel wurde die Verbindung wie folgt hergestellt:

Nach dem oben beschriebenen Verfahren wurde eine Gedächtnislegierung folgender Analyse erschmolzen, warmgewalzt, geglüht und abgeschreckt:

Zink:	22 %
Aluminium:	6 %
Nickel:	2 %
Kupfer:	Rest

Die Legierung dieser Zusammensetzung hat einen martensitischen Verwandlungspunkt M_s von -50°C. Aus der üblicherweise hergestellten Walzplatte wurde eine Scheibe 6 gemäss Fig. 3 mit folgenden Abmessungen herausgedreht:

Aussendurchmesser:	29,1 mm
Dicke am Umfang:	4,2 mm
Dicke in der Mitte:	2,2 mm

Tiefe der Hinterdrehung:	2 mm
Durchmesser der Hinterdrehung:	
innen:	26.1 mm
ausser:	25.1 mm
Radiale Breite des äusseren Randes:	2 mm

Die Konizität der Hinterdrehung 7 betrug demnach 0,5 mm auf 2 mm axiale Länge. Der zu verbindende Hohlkörper 8 stellte im vorliegenden Fall ein dem ersten Beispiel ähnlicher zylindrischer Ring (4 in Fig. 1) aus Porzellan dar. Der Porzellanring wies keine spezielle Oberflächenbehandlung auf. Seine äussere, dem Verbindungselement zugekehrte Kante war indessen auf 1 mm axiale Länge unter 45° gebrochen worden. Die Abmessungen waren folgende:

Aussendurchmesser:	25.4 mm
Innendurchmesser:	16.2 mm
Radiale Wandstärke:	4.6 mm
Axiale Breite:	20 mm

Die Scheibe 6 und der Ring 8 wurden unter Verwendung von Äthanol als Kühlmittel bei einer Temperatur von -70°C axial zusammengepresst und anschliessend auf Raumtemperatur (20°C) erwärmt. Durch diese Erwärmung über M_s (-50°C) hinaus wurde eine feste, dichte Verbindung der Bauteile erzielt. Zwecks Messung der Dichtheit wurde das Porzellanrohr an eine Vakuumpumpe angeschlossen, während das Äussere des Werkstücks in eine Heliumatmosphäre gebracht wurde. Unter einem Vakuum von 10^{-4} Torr konnten im besagten System keine messbaren Heliumverluste festgestellt werden, was bedeutet, dass die Heliumleckmenge pro Zeiteinheit unterhalb der Messgrenze (10^{-9} mbar l/s) lag. Damit war die Vakuumdichtheit der Metall/Keramik-Verbindung erwiesen.

Auch für diese Ausführungsform gelten die bereits anlässlich der Beschreibung des ersten Beispiels gemachten Feststellungen bezüglich stofflicher Zusammensetzung und Formgestaltung des Verbindungselementes.

In Fig. 4 ist ein Schnitt durch ein beidseitig abgesetztes scheibenförmiges Verbindungselement aus einer Gedächtnislegierung dargestellt. Die Scheibe 9 weist auf ihren beiden Stirnseiten je eine Hinterdrehung 7 auf, deren Innendurchmesser dem jeweiligen Aussendurchmesser des zu verbindenden Hohlkörpers 8 entspricht. Die Hinterdrehung 7 kann, je nach dem zu verbindenden Hohlkörperwerkstoff und je nach Dimension zylindrisch oder nach innen leicht konisch erweitert (siehe Fig. 3) ausgeführt werden. Der zu verbindende Hohlkörper 8 kann zylindrisch glatt (rechte Seite der Figur) oder abgesetzt (linke Seite der Figur) ausgeführt sein.

Fig. 5 zeigt einen Schnitt durch ein als Hohlkörper ausgebildetes Verbindungselement aus einer Gedächtnislegierung. Der Hohlkörper 10 ist abgesetzt und weist beispielsweise auf einer Stirnseite die Hinterdrehungen 7, auf der anderen Stirnseite eine Nut 12 auf. Es ist ferner mit einer zentralen Öffnung 11 versehen, welche z. B. die Unterbringung eines weiteren zentralen Bauteils gestattet oder die Bewegung eines strömenden Mediums (z. B. Gas oder Flüssigkeit) ermöglicht.

Fig. 6 zeigt einen Schnitt durch ein als abgesetztes Rohr ausgebildetes Verbindungselement. Der aus einer Gedächtnislegierung bestehende Hohlkörper 10 weist in seinem mittleren Teil eine zentrale Öffnung 11 als Bohrung auf. Derartige Formstücke lassen sich in vorteilhafter Weise als Verbinder von länglichen Gegenständen wie Rohre, Stangen usw. verwenden. Um eine

hinreichende Stabilität zu gewährleisten, sind die Hinterdrehungen 7 verhältnismässig grossflächig ausgeführt. Es versteht sich von selbst, dass das Rohr- oder Stangenmaterial ausser von rundem prinzipiell auch von quadratischem, sechs- oder achteckigem, ovalem oder beliebig anderem Querschnitt sein kann.

Die in den Fig. 1 bis 6 gezeigten Verbindungselemente können prinzipiell aus irgend einer Gedächtnislegierung bestehen. Vorteilhafterweise werden sie aus Legierungen auf der Basis von Ti/Ni oder von Ti/Ni/Cu, gegebenenfalls mit weiteren Zusätzen oder aus solchen auf der Basis von Cu/Zn/Al (β -Sondermessing) gefertigt. Besonders bewährt haben sich β -Sondermessing mit Nickelzusatz.

Die Wirkung des Nickelzusatzes ist aus Fig. 7 ersichtlich. Für eine Legierung mit 22 % Zink, 6 % Aluminium, Rest Kupfer + Nickel ist für Nickelgehalt von 0 bis 4 % der Einfluss auf die Korngrösse d (mm) graphisch aufgetragen. Dabei wurden alle Legierungen während 5 min einer Lösungsglühung bei 950°C und einem darauffolgenden Abschrecken in Wasser ausgesetzt. Die Lösungsglühung bei hohen Temperaturen ist für alle Sondermessing des Cu/Zn/Al-Typs notwendig, um deren Struktur in die für den Gedächtniseffekt unumgängliche primäre β -Phase überzuführen. Wie aus dem Diagramm ersichtlich ist, zeigen nun herkömmliche, nickelfreie Sondermessing dieses Typs beim Glühen starke Tendenz zu Kornvergrößerung. Dies äussert sich in einer Herabsetzung der mechanischen Eigenschaften, so dass derartige Verbindungselemente nach dem Abschrecken und zufolge der durch den Gedächtniseffekt auftretenden Spannungen oft Risse aufweisen. Die meist interkristallin auftretenden Risse können durch entsprechendes Zulegieren von Nickel, was eine beträchtliche Kornverfeinerung bewirkt, wirksam unterdrückt oder zumindest in tragbaren Grenzen gehalten werden. Mit den angegebenen Legierungen auf Cu/Zn/Al/Ni-Basis lassen sich gas- und vakuumdichte Verbindungen erzielen. Dies gilt sowohl für die Kombinationen Metall/Metall, Metall/Kunststoff wie vor allem für Metall/Keramik und Kunststoff/Keramik.

Es soll noch darauf aufmerksam gemacht werden, dass die aus einer Gedächtnislegierung bestehenden Verbindungselemente statt aus dem Vollen herausgearbeitet, auch aus verhältnismässig dünnem Blech gefertigt werden können. Dies gilt insbesondere für die Körper nach Fig. 1 bis 4, wobei beispielsweise die Nuten und abgesetzten Partien nach bekannten herkömmlichen Methoden der Blechverformung wie Stanzen, Drücken usw. hergestellt werden können. Durch geeignete Formgebung des Bleches an der Klemmstelle vor dem Zusammenbau kann der Gedächtniseffekt sowohl in Richtung Kontraktion wie Dilatation ausgenutzt werden. Derartige Verbindungen zwischen einem elastischen Blech aus einer Gedächtnislegierung und einem Hohlkörper aus keramischem Material erweisen sich ebenfalls als gas- und vakuumdicht.

Durch das erfindungsgemässe Verfahren wurde eine Verbindungsart für feste Körper geschaffen, welche erlaubt, insbesondere in ihren physikalischen Eigenschaften stark voneinander abweichende Bauelemente wie metallische und keramische Körper in einfacher Weise zu einem festen Ganzen zusammenzufügen. Die auf diese Art hergestellten Verbindungen zeichnen sich durch Gas- und Vakuumdichtheit aus. Das Verfahren lässt sich in besonders vorteilhafter Weise bei der Herstellung physikalischer und elektrotechnischer Geräte (z. B. Elektronenröhren, Gasentladungsgefässe usw.) anwenden.

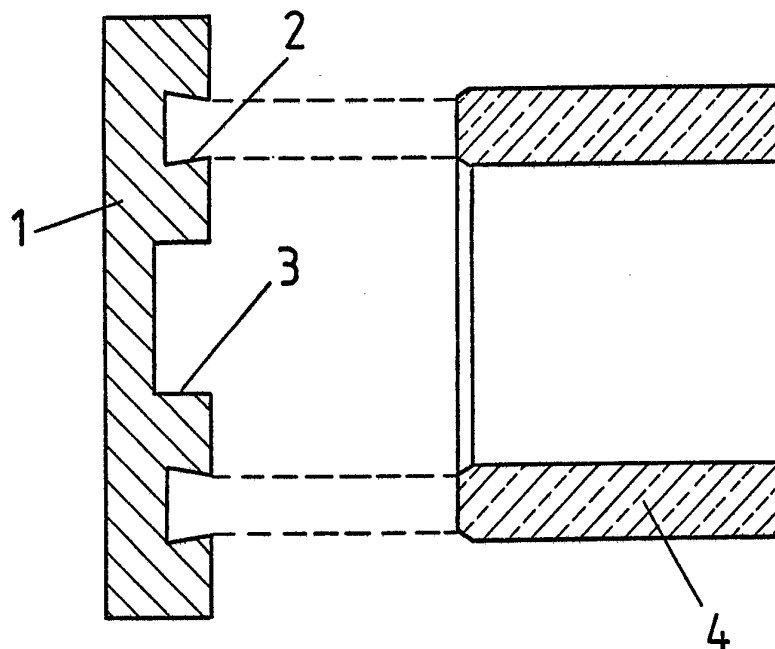
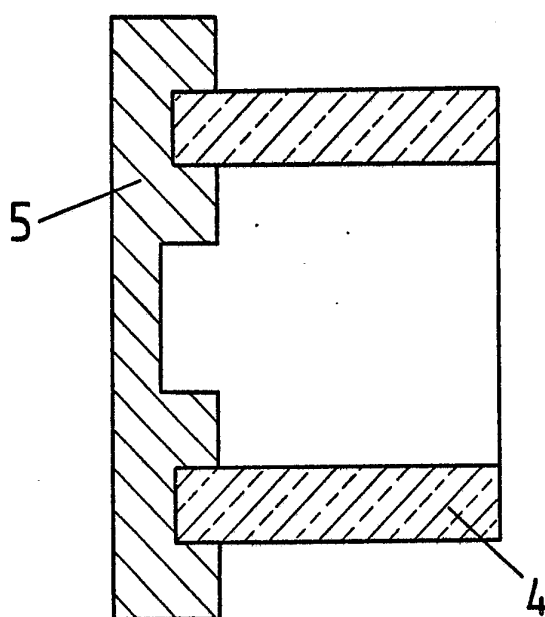


FIG.2



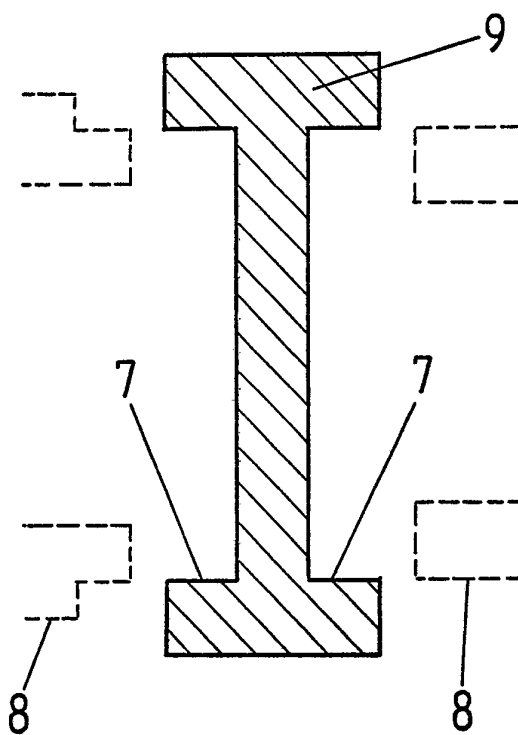
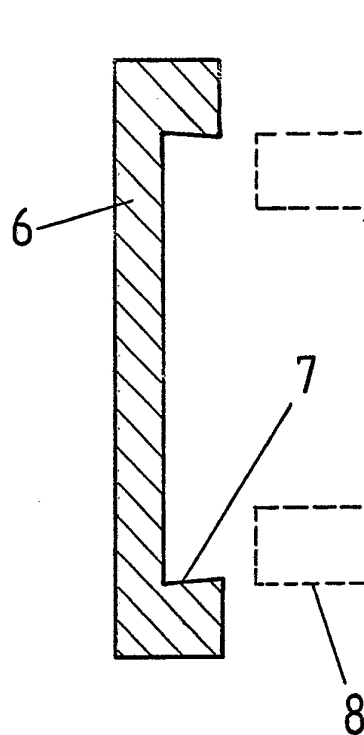


FIG. 5

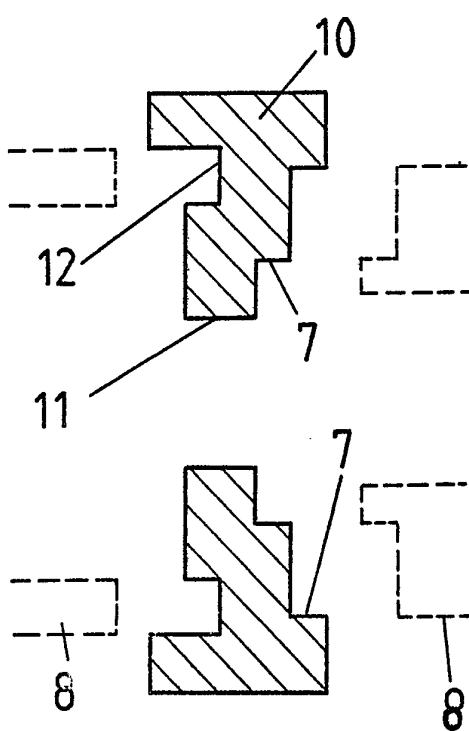


FIG. 6

