



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 697 24 730 T2** 2004.04.01

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 0 837 221 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **697 24 730.9**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **97 118 046.8**

(96) Europäischer Anmeldetag: **17.10.1997**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **22.04.1998**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **10.09.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **01.04.2004**

(51) Int Cl.⁷: **F01D 5/02**

F01D 5/28, B23K 13/00, C21D 9/00

(30) Unionspriorität:

31114396 18.10.1996 JP

35985496 27.12.1996 JP

2763097 12.02.1997 JP

(73) Patentinhaber:

Daido Steel Co. Ltd., Nagoya, Aichi, JP

(74) Vertreter:

**Patent- und Rechtsanwälte Kraus & Weisert,
80539 München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AT, DE, FR, GB, SE

(72) Erfinder:

**Noda, Toshiharu, Tajimi-shi, Gifu-ken, JP; Okabe,
Michio, Chita-shi, Aichi-ken, JP; Shimizu, Takao,
Tempaku-ku, Aichi-ken, JP**

(54) Bezeichnung: **Turbinenrotor aus Ti-Al und Verfahren zur Herstellung dieses Rotors**

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

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

Bereich der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen Turbinenrotor aus TiAl, welcher als ein Teil eines Turboladers für einen Verbrennungsmotor eingesetzt wird, und ein Verfahren zum Herstellen desselben.

Stand der Technik

[0002] Bis heute sind Turbinenrotoren für Turbolader von Verbrennungsmotoren hergestellt worden, indem eine aus Baustahl hergestellte Welle mit einem Turbinenrad, welches durch Präzisionsformguss einer zum Beispiel Ni-basierten Inconel-713C-Superlegierung mit einer guten hohen Temperaturfestigkeit hergestellt ist, durch Reibverbinden oder Verbinden mittels Elektronenstrahls verbunden wird.

[0003] Die US 5076484 offenbart einen Turbinenrotor, welcher aus einem keramischen Turbinenrad mit einer daran gelöteten Rotorwelle besteht.

[0004] Um die Hitzebeständigkeit des Turboladers zu verbessern und die Einsatzmöglichkeit der Motoren zu erweitern, indem die durch ein herabgesetztes Gewicht der Turbinenräder verursachte Trägheit herabgesetzt wird, sind keramische aus Siliziumnitrid hergestellte Turbinenrotoren eingesetzt worden.

[0005] Die keramischen Turbinenrotoren haben Nachteile, wie z. B.,

- 1) dass die Räder aufgrund der geringeren Steifigkeit des Materials dicker als diejenigen von herkömmlichen Metallprodukten sein müssen; und
- 2) dass der Ausgleich der Wärmeausdehnung zwischen dem Rad und dem Gehäuse aufgrund der niedrigen Wärmeausdehnung der keramischen Materialien schwierig zu bewerkstelligen ist.

[0006] Als ein neues Material, um die keramischen Materialien zu ersetzen, zogen TiAl-Legierungen aufgrund ihrer so geringen relativen Dichte von 3,8, was auf demselben Niveau wie diejenige von keramischen Materialien liegt, einer hohen spezifischen Festigkeit (Festigkeit durch Dichte) bei hoher Temperatur, was gleich mit oder höher als diejenige von Inconel 713C ist, und einem Wärmeausdehnungskoeffizienten, welcher demjenigen von Metallen nahe kommt, die Aufmerksamkeit auf sich. Deswegen wurde vorgeschlagen, die TiAl-Legierungen als Material für Turbinenräder zu verwenden (z. B. japanische Patent-Offenbarung Nr. 61-229901). Die praktisch verwendeten TiAl-Legierungen sind solche, welche ein intermetallisches Gemisch mit TiAl als Hauptbestandteil besitzen, und die Legierungszusammensetzungen variieren in einem bestimmten Bereich. In der folgenden Beschreibung werden die Legierungen jedoch insgesamt als "TiAl" bezeichnet.

[0007] Die Turbinenräder aus TiAl werden durch Präzisionsformguss oder durch Isothermschmieden hergestellt und dann mit den aus einem Baustahl hergestellten Wellen verbunden, um die Turbinenrotoren zu bilden. Reibverbinden, welches zum Verbinden von Rädern von herkömmlicher Ni-basierter Superlegierung und Wellen eines Baustahls eingesetzt worden ist, kann nicht angewendet werden, um Räder aus TiAl zu verbinden. Der Grund dafür ist, dass, wenn Reibverbinden eingesetzt wird, die Transformation des Baustahls zur Zeit der Abkühlung vom Austenit zum Martensit eine Ausdehnung des Stahles verursacht, was eine Restspannung bewirkt, und obwohl das TiAl eine viel höhere Steifigkeit besitzt, welche den keramischen Materialien fehlt, liegt die Formbarkeit bei Raumtemperatur ungefähr bei geringen 1% und deshalb kann ein Brechen der Räder aus TiAl auftreten. Des Weiteren tritt eine Reaktion von Ti in TiAl und C in dem Baustahl auf, um Titancarbid an der Verbindungsschnittstelle zu bilden und deshalb sinkt die Festigkeit an der Schnittstelle.

[0008] Als Lösungen für diese Probleme ist vorgeschlagen worden, Vakuumlöten oder Reibverbinden einzusetzen, wobei dazwischen liegende Teile eines austenitischen Materials, welche nicht unter der Martensitumwandlung leiden, verwendet werden (z. B. die japanische Patent-Offenbarung Nr.02-133183).

[0009] Die erstgenannte Lösung, dass voran erwähnte Vakuumlöten, muss in einem Hochvakuum ausgeführt werden, was eine längere Bearbeitungsdauer inklusive Vakuumherzeugung erfordert, und wodurch die Kosten höher sind. Die letztgenannte Lösung, die Verwendung von dazwischen liegenden Teilen, benötigt zwei Phasen des Verbindens, z. B. zuerst ein Verbinden des dazwischen liegenden Teils mit der Welle und als zweites ein Verbinden des dazwischen liegenden Teils mit dem Turbinenrad. Deswegen sind die Herstellungskosten auch hoch. Des Weiteren ist die Kontrolle der Dicke dazwischen nach dem Verbinden schwierig.

[0010] Der durch Verbinden hergestellte Wellenteil des Turbinenrotors wird zum Zwecke der Veredelung einem Härten und einer Wärmebehandlung unterzogen, und dann wird die Oberfläche der Welle um den verbundenen Abschnitt, welcher durch Lager gehalten werden soll, zum Zwecke des Verbesserns der Verschleißbeständigkeit durch hohe HF-Erwärmung oder durch Laser-Erhitzen einem Härten unterzogen. Im Fall des Vakuumlöten schmilzt das Lötmetall wieder bei dem Erhitzen für das Härten, wenn die Temperatur über dem Schmelzpunkt des Lötmetalls liegt. Daraus folgen eine Oxidation des Lötmetalls und eine Abnahme der Fest-

tigkeit am verbundenen Abschnitt. In einigen Fällen können die produzierten Rotoren auch während des Behandelns zerstört werden.

[0011] Unter den obigen Umständen sind Turbinenrotoren aus TiAl in der Praxis nicht hergestellt worden. Das Haupthindernis für die Herstellung in der Praxis sind die hohen Produktionskosten. Die Erfinder versuchten Löten unter Hochfrequenz-Induktionserwärmung (hier später als "HF-Erwärmung" abgekürzt). Der Versuch war erfolgreich, und es wurde ermittelt, dass Turbinenräder aus TiAl und Stahlwellen mit hoher Bindungsfestigkeit verbunden werden können und dass Turbinenrotoren aus TiAl mit verringerten Kosten hergestellt werden können.

[0012] Bei Anwendung der voran stehend erwähnten Technologie wurde in Erfahrung gebracht, dass ein Platzieren der Achse des Rades aus TiAl und in Übereinstimmung damit der Achse der Welle schwierig ist, wenn die durch Löten zu verbindenden Schnittstellen eben sind, und dass ein exzentrisches Verbinden oft auftritt. Wegen der hohen Wärmeleitfähigkeit von TiAl ist auch die Wärmeleitung von dem Rad aus TiAl, welches während des Einsatzes einer hohen Temperatur ausgesetzt ist, zu der Welle so hoch, dass die Welle auf eine hohe Temperatur aufgeheizt wird und folglich ein Festfressen der Lager auftreten kann.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0013] Eine grundlegende Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist deshalb, einen Turbinenrotor aus TiAl und ein Verfahren zur Herstellung des Turbinenrotors aus TiAl bereitzustellen, welche die Probleme beim Vakuumlöten, dass die Bearbeitungsdauer lang ist und dass die Kosten hoch sind, lösen und für eine Reduktion im industriellen Maßstab geeignet sind.

[0014] Eine andere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist, einen Turbinenrotor aus TiAl, bei welchem die Achse des Rades aus TiAl und die Achse der Welle gut ausgerichtet sind, wie auch ein Verfahren zum Herstellen des Rotors bereitzustellen.

[0015] Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist, einen Turbinenrotor aus TiAl, bei welchem zusätzlich zu der voran stehend erwähnten guten Ausrichtung der Achse des Rades aus TiAl und der Achse der Welle die Wärmeleitung von dem Rad zu der Welle vermindert ist, wie auch ein Verfahren zum Herstellen des Rotors.

KURZE ERKLÄRUNG DER ZEICHNUNGEN

[0016] **Fig. 1** ist eine Seitenansicht eines erfindungsgemäßen Turbinenrotors aus TiAl;

[0017] **Fig. 2** ist eine Querschnittseitenansicht in Längsrichtung einer Vorrichtung zum HF-Erwärmung, welche die grundlegende Ausführungsform der Herstellung des Turbinenrotors aus TiAl darstellt;

[0018] **Fig. 3** ist auch eine Querschnittseitenansicht in Längsrichtung einer Vorrichtung zum HF-Erwärmung der bevorzugten Ausführungsform der Herstellung des Turbinenrotors aus TiAl;

[0019] **Fig. 4** ist eine Querschnittsansicht in Längsrichtung der Radbasis und des Wellenendes des Turbinenrotors aus TiAl in dem Zustand vor dem Verbinden;

[0020] **Fig. 5** stellt die verbundenen Teile in dem Zustand dar, welcher dem Zustand der **Fig. 4** nachfolgt;

[0021] **Fig. 6** stellt eine Ausführungsform der verbundenen Teile dar, welche anders als diejenige der **Fig. 5** ist;

[0022] **Fig. 7** und **Fig. 8** stellen weitere Ausführungsformen der verbundenen Teile dar; und

[0023] **Fig. 9** erläutert ein Verfahren zum Messen einer "Nicht-Maßhaltigkeit" der Achsen der produzierten Turbinenrotoren.

DETAILLIERTE ERLÄUTERUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0024] Der erfindungsgemäße Turbinenrotor aus TiAl, welcher in einer grundlegenden Ausführungsform in **Fig. 1** dargestellt ist, ist ein Turbinenrotor aus TiAl, welcher aus einem durch Präzisionsformguss hergestellten Turbinenrad a und aus einer damit verbundenen Rotorwelle b besteht, dadurch gekennzeichnet, dass ein Baustahl oder ein martensitischer Hitze beständiger Stahl als Material für die Welle verwendet wird und dass die Basis des Rades und das Ende der Welle an der Verbindungsschnittstelle durch Löten mit einem Lot d verbunden sind.

[0025] Das erfindungsgemäße Verfahren zum Herstellen des voran stehend erwähnten Turbinenrotors aus TiAl ist dadurch gekennzeichnet, dass ein Lot d zwischen ein durch Präzisionsformguss hergestelltes Turbinenrad a und eine Rotorwelle b aus Baustahl oder martensitischem Hitze beständigem Stahl eingefügt wird; dass eine Belastung von 0,01 kgf/mm² oder höher aber geringer als die Fließspannung der Welle und des Rotorrades bei der beim Verbinden herrschenden Temperatur auf die Schnittstellen aufgebracht wird; dass die zu verbindenden Teile in einer Atmosphäre von Inertgas oder von Reduktionsgas einer durch HF-Erwärmung erzeugten Hitze mit einer Temperatur ausgesetzt werden, welche höher als die Schmelztemperatur des Lötme-

talls ist, aber die Schmelztemperatur nicht um mehr als 100°C übersteigt; und dass die Teile bei dieser aufgeheizten Temperatur gehalten werden und dann abgekühlt werden, um ein Verbinden durch Löten herzustellen. [0026] Es ist vorteilhaft, gleichzeitig mit dem Verbinden das Härten durchzuführen. Obwohl eine HF-Erwärmung zum Löten nur für das zu verbindende Teil durchgeführt werden kann, wie in **Fig. 2** dargestellt ist, wird zu diesen Zweck vorgeschlagen, dass Löten, wie in **Fig. 3** dargestellt ist, durchzuführen, indem sowohl das Turbinenrad als auch die Welle in einer Erwärmungsvorrichtung, welche sich unter einer nicht oxidierenden Atmosphäre befindet, durch HF-Erwärmung auf eine Temperatur über der Austenittemperatur aufzuheizen und indem danach ein kühlendes Gas, wie z. B. Argon oder Helium, eingeblasen wird oder eine kühlende Flüssigkeit, wie z. B. Wasser, eingeströmt wird, um die Welle abzuschrecken, um sie zu härten.

[0027] Wenn die Benetzbarkeit der Schnittstellen zwischen dem Lötmetall und den zu verbindenden Teilen aufgrund der Oxidation während der Erwärmung abnimmt, vergrößert sich der nicht verbundene Bereich und die Vergrößerung bewirkt eine verminderte Bindungsfestigkeit. Deshalb ist es notwendig und vorteilhaft, das Turbinenrad und die Rotorwelle mit einer Hitze beständigen Glasabdeckung, wie in **Fig. 2** und **Fig. 3** dargestellt, zu verkleiden und ein Inertgas oder ein Reduktionsgas in die Abdeckung um diese Teile herum zuzuführen, so dass die Oxidation vermieden werden kann. Für den Fall dass das verwendete Lötmetall einen aktiven Metallbestandteil beinhaltet, ist es günstig Reduktionsgas (z. B. He Gas mit 5% H₂) zuzuführen.

[0028] Die zum Löten benötigte Zeit ist kurz. Es wurde herausgefunden, dass unter normalen Lötbedingungen ein 30 Sekunden langes Halten unter Erhitzung eine befriedigende Bindungsfestigkeit ergibt. Z. B. wurde im Fall eines Wellendurchmessers von 17 mm als Gesamtbearbeitungsdauer einschließlich der Vorbereitung zum Erwärmen eine kurze Zeit von ungefähr 90 Sekunden benötigt.

[0029] Für den Fall, dass das Wellenmaterial einem Härten und einer Wärmebehandlung nach dem Verbinden unterzogen wird, ist es notwendig, um ein erneutes Schmelzen des Lötmetalls an der verbundenen Schnittstelle während des Erwärmens für das Härten des Wellenmaterials zu verhindern, solch ein Lötmetall und Wellenmaterial zu wählen, dass die Schmelztemperatur des Lötmetalls höher als die Austenittemperatur der Welle ist. In der Praxis ist die Schmelztemperatur des Lötmetalls nach dem Verbinden höher als die ursprüngliche Schmelztemperatur des Lötmetalls aufgrund der Diffusion verschiedener Elemente aus den verbundenen Teilen während des Verbindens, und deshalb ist es möglich, eine solche Kombination zu wählen, bei der die Schmelztemperatur gleich der Austenittemperatur des Wellenmaterials ist. Eine zu hohe Löttemperatur kann zu chemischen Reaktionen zwischen den zu verbindenden Teilen und dem Lötmetall führen und so Gemische an den Verbindungsschnittstellen bilden, und dies kann eine verminderte Festigkeit an dem Verbindungsabschnitt bewirken. Um dies zu vermeiden, sollte die Temperatur bis zu 100°C über der Schmelztemperatur des Lötmetalls liegen.

[0030] Die erfindungsgemäßen Turbinenrotoren werden in vielen Fällen einem Härten und einer Wärmebehandlung der Welle und einer Bearbeitung gefolgt von einer härtenden Behandlung der Oberfläche unterzogen, bevor sie als Produkt eingesetzt werden.

[0031] Die verbesserte und bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Turbinenrotors aus TiAl ist ein Turbinenrotor aus TiAl, welcher aus einem mit Präzisionsformguss hergestellten Turbinenrad und einer damit verbundenen Rotorwelle besteht, dadurch gekennzeichnet, dass ein Baustahl oder ein martensitischer Hitze beständiger Stahl als Material für die Welle verwendet wird, dass, wie in **Fig. 4** und **Fig. 5** oder **Fig. 6** dargestellt ist, eine Vertiefung (oder ein Vorsprung) und ein Vorsprung (oder eine Vertiefung) kreisförmig an der Basis des Rades und dem Ende der Welle vorhanden sind, und dass die Vertiefung und der Vorsprung montiert sind und der ringförmige Abschnitt außerhalb der Vertiefung und des Vorsprungs durch Löten verbunden ist.

[0032] Das in **Fig. 4** und **Fig. 5** dargestellte Beispiel gilt für einen Fall, in dem die Basis des Rades einen Vorsprung besitzt und das Ende der Welle eine Vertiefung besitzt, während das andere in **Fig. 6** dargestellte Beispiel der umgekehrte Fall ist, d. h., in dem die Basis des Rades eine Vertiefung und das Ende der Welle einen Vorsprung besitzt.

[0033] Weil die Turbinenrotoren bei einer hohen Temperatur und mit einer hohen Rotationsgeschwindigkeit eingesetzt werden, sollte das Material davon eine gute hohe Temperaturfestigkeit und Formbarkeit wie auch eine Oxidationsbeständigkeit besitzen. Aus diesem Blickwinkel sollte TiAl eine grundlegende Legierungszusammensetzung besitzen, in welcher Al 31–35% besitzt und der Rest im Wesentlichen Ti ist. Vorzugsweise besitzt die Legierung eins oder mehrere der folgenden zusätzlichen Elemente:

- 1) zumindest eins von Cr, Mn und V in einer Menge von (im Fall von zwei oder mehreren insgesamt) 0,2–4,0 Gewichtsprozent;
- 2) zumindest eins von Nb, Ta und W in einer Menge von (im Fall von zwei oder mehreren insgesamt) 0,2–8,0 Gewichtsprozent; und
- 3) Si mit 0,01–1,00 Gewichtsprozent.

[0034] Fremdstoffe sind vorzugsweise auf die folgenden beschränkt:

- 4) Zr: weniger als 1,0%, Fe: weniger als 1,0%, C: weniger als 0,2%, O: weniger als 0,2% und N: weniger als 0,2%.

[0035] Das Folgende erklärt die Gründe der Beschränkung der Zusammensetzungen der Legierungen, welche, wie oben angegeben, als Material für die Turbinenräder in der vorliegenden Erfindung eingesetzt werden:

Al: 31–35%

[0036] Aluminium verbindet sich mit Titanium, um ein intermetallisches Gemisch, TiAl und Ti_3Al zu bilden. Einzelne Phasen sowohl von TiAl als auch von Ti_3Al sind brüchig und besitzen eine geringe Festigkeit. In dem Fall, in dem Al in dem Bereich von 31–35% liegt, kann jedoch Ti_3Al mit einem Volumenprozentsatz von 5–30% enthalten sein und bildet eine zweiphasige Legierung, welche eine gute Formbarkeit und Festigkeit aufweist. In dem Fall eines geringeren Al-Anteils von weniger als 31% wird viel Ti_3Al gebildet, während in dem Fall eines höheren Al-Anteils von mehr als 35% eine zu kleine Menge von Ti_3Al gebildet wird, und in beiden Fällen ist die Festigkeit und Formbarkeit der Legierung zerstört.

Ein oder mehrere Anteile von Cr, Mn und V: 0,2–4,0% (im Fall von zwei oder mehreren insgesamt)

[0037] Cr, Mn und V sind alles Elemente, welche die Formbarkeit von TiAl verbessern. Diese Elemente bewirken einen verbesserten Effekt bezüglich der Formbarkeit, wenn sie in einer Gesamtmenge von 0,2% oder mehr hinzugefügt werden. Eine solch große hinzugefügte Menge von mehr als 4% bewirkt eine merkbare Abnahme der Oxidationsbeständigkeit und verursacht gleichzeitig die Bildung einer β -Phase, was eine verminderte Hochtemperaturfestigkeit bewirkt.

Ein oder mehrere Anteile von Nb, Ta und W: 0,2–8,0% (im Fall von zwei oder mehreren insgesamt)

[0038] Nb, Ta und W verbessern die Oxidationsbeständigkeit von TiAl. Der Effekt kann durch Hinzufügen dieser Elemente in einer Menge von 0,2% oder mehr erzielt werden. Eine hinzugefügte Menge, welche 8% übersteigt, vermindert die Formbarkeit. Auch kann eine solch große beigefügte Menge die Dichte von TiAl erhöhen, mit anderen Worten wird ein charakteristischer Vorzug dieser Legierung, die geringe Dichte, geschwächt.

Si: 0,01–1,00

[0039] Si reagiert mit Ti und bildet Silicid (Ti_5Si_3) und verbessert die Dauerstandfestigkeit und Oxidationsbeständigkeit von Ti-Al. Dieser Effekt kann wahrgenommen werden, wenn Si in einer Menge von zumindest 0,01 beigemischt wird. Eine Beimischung von 1% oder mehr vermindert die Formbarkeit der Legierung.

Zr: < 1,0%, Fe: < 1,0%, C: < 0,2%, O: < 0,2% und N: < 0,2%

[0040] Zr, Fe, C, O und N sind Fremdstoffe, welche aus den Materialien oder beim Präzisionsformguss der Rotorräder aus TiAl in das Produkt kommen. Wenn diese Fremdstoffe in einer großen Menge vorhanden sind, nimmt die Formbarkeit von TiAl deutlich ab. Deswegen sind die oberen Grenzen dieser Elemente auf 1,0%, 1,0%, 0,2%, 0,2% bzw. 0,2% gesetzt.

[0041] Das Turbinenrad aus TiAl, welches ein Teil eines Turbinenrotors ist, kann entweder durch Präzisionsformguss oder durch Schmieden mit konstanter Temperatur produziert werden. Die Formbarkeit der Turbinenräder aus TiAl kann durch Hitzebehandlung bei einer Temperatur in dem Bereich von 1200–1300°C verbessert werden. Die Festigkeit und Formbarkeit der Präzisionsformguss-Produkte kann durch HIP-Behandlung bei einer Temperatur von 1200–1350°C unter einem Druck von 1000 kgf/cm² oder mehr verbessert werden, um so innere Fehlstellen zu zertrümmern und auf diese Weise die Zuverlässigkeit, Festigkeit und Formbarkeit zu verbessern.

[0042] Beim Verbinden durch Löten ist es in dem Fall geeignet, indem ein Vorsprung und eine Vertiefung an der Basis des Rades und des Endes der Welle ausgebildet sind, ein Lot in der Form einer gestanzten Ringfolie zu verwenden, welche der Form und der Größe des ringförmigen Bereichs außerhalb des Vorsprungs und der Vertiefung entspricht.

[0043] Eine höhere Belastung verbessert die Benetzbarkeit der Schnittstellen zwischen dem Lot und den zu verbindenden Teilen und verursacht ein Eindringen des geschmolzenen Lötmetalls in die Schnittstelle des Einbaus, was eine wesentliche Erweiterung des verbundenen Bereiches und eine erhöhte Bindungsfestigkeit bewirkt. In dem Fall, in dem die zu verbindenden Oberflächen rau sind, ist eine höhere Belastung vorzuziehen.

[0044] Als Lotprodukte können verschiedene Lötmetalle verwendet werden. Unter ihnen können solche, welche als Hauptbestandteile Ag, Cu, Ni oder Ti enthalten und eine Schmelztemperatur von 800°C oder höher besitzen, vorzugsweise verwendet werden.

[0045] Vorzugsweise gibt es einen gewissen Unterschied bei den Durchmessern des Vorsprungs und der Vertiefung an dem zu verbindenden Abschnitt, um ein Spiel bei der Montage zu realisieren, da ansonsten eine

beeinträchtigte Montage gewaltsam notwendig ist und eine Montage schwer zu bewerkstelligen ist, wenn der Unterschied im Wesentlichen Null ist. Ein Spiel bei der Montage ermöglicht ein Eindringen des geschmolzenen Lötmetalls in den Zwischenraum beim Löten und eine erhöhte Bindungsfestigkeit kann erwartet werden. Um jedoch die Teile mit guter Ausrichtung bezüglich der Achsen des Rades und der Welle zu löten, sollte das Spiel nicht zu groß sein. Gewöhnlich verursacht ein Spiel von bis zu 1 mm kein Problem.

[0046] Das räumliche Verhältnis von dem Vorsprungs-/Vertiefungs-Abschnitt zu dem ringförmigen Abschnitt wird vorzugsweise so gewählt, dass der ringförmige Bereich 20% oder mehr des gesamten Querschnittes besitzt. Dieses Verhältnis ergibt eine befriedigende Bindungsfestigkeit.

[0047] Die Kombination einer größeren Tiefe der Vertiefung und einer kleineren Höhe des Vorsprungs bildet eine Aushöhlung in dem verbundenen Bereich. Die Aushöhlung verhindert Wärmeleitung von dem Rad zu der Welle und auf diese Weise wird ein Temperaturanstieg in der Welle unterdrückt. Dies ist aus dem Blickwinkel des Schutzes der Lager wünschenswert. Die Länge der Aushöhlung ist natürlich durch den Unterschied zwischen der Tiefe der Vertiefung und der Höhe des Vorsprungs bestimmt, und gewöhnlich ist eine Länge von einigen bis 15 mm geeignet. Die Profile der Aushöhlung können variieren. Nicht nur das einfache Profil, wie in **Fig. 7** dargestellt, sondern auch das Profil eines konischen Bodens, wie in **Fig. 8** dargestellt, kann verwendet werden. Eine Alternative mit einer konischen Vertiefung an der Spitze des Vorsprungs kann natürlich auch verwendet werden.

[0048] Die vorliegende Erfindung stellt somit einen Turbinenrotor aus TiAl zur Verfügung, bei welchem ein aus TiAl mit einer guten Hitzebeständigkeit hergestelltes Turbinenrad und eine aus einem Baustahl oder einem Hitze beständigen Stahl hergestellte Welle mit einer hohen Bindungsfestigkeit verbunden sind. Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung stellt bessere Turbinenrotoren aus TiAl zur Verfügung, bei welchen sich die Achsen des Turbinenrades und der Welle in guter Ausrichtung befinden. Eine andere bevorzugte Ausführungsform stellt bessere Produkte zur Verfügung, bei welchen zusätzlich zu dem voran stehenden Vorzug eine Wärmeleitung von dem Rad zu der Welle geringer ist und somit der Temperaturanstieg in der Welle abnimmt.

BEISPIELE

Beispiel 1

[0049] Turbinenräder aus TiAl mit einem Durchmesser von 52 mm wurden durch Präzisionsformguss erstellt, wobei zwei Arten von TiAl-Legierungen verwendet wurden, wie in Tabelle 1 dargestellt. Die Wellen wurden aus zwei Arten von Stahlstangen mit einem Durchmesser von $D_0 = 17$ mm und einer Länge von 110 mm hergestellt. Die Zusammensetzungen der Stähle sind in Tabelle 1 dargestellt. Die drei eingesetzten Lote sind auch in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1

Referenz	Art	Chemische Zusammensetzung oder Standard
TiAl Turbinenrad		
33.5Al	Ti-33.5Al-4.8Nb-1.0Cr-0.2Si	
34.0Al	Ti-34.0Al-5.0Nb-1.0Cr-0.0Si	
Wellenmaterial		
SNCM439	Ni-Cr-Mo Baustahl	JIS G 4103
SUH11	Martensitischer Hitze beständiger Stahl JIS G 4311	
Lot		
BAG-7, 13A	Silber basiert	63Ag-33Cu-Ti JIS Z 3261
BNi-3	Nickel basiert	- -Ni JIS Z 3265
"A"	Silber basiert	Ag-35.5Cu-1.7Ti
"B"	Kupfer basiert	Cu-1-Co-31.5Mn
"C"	Titanium basiert	Ti-15Ni-15Cu

[0050] Wie in **Fig. 2** dargestellt wurde ein Lot (d) zwischen einem Rad (a) und einer Welle (b) eingefügt und einem Druck von 0,5 kgf/mm² auf der Schnittstelle ausgesetzt. Die verbundenen Oberflächen waren eben und durch Abschleifen bearbeitet. Als Lot wurden Metallfolien von 50 µm Dicke verwendet. Die zu verbindenden Teilen wurden durch eine Hitze beständige Glasabdeckung abgedeckt, um die zu verbindenden Teile zu schützen, und Argongas wurde in den Zwischenraum der Glasabdeckung zugeführt. Ein HF-Erwärmung wurde unter Verwendung einer außerhalb der Glasabdeckung vorhandenen Heizspirale durchgeführt, um die zu verbindenden Teile auf die Temperatur von der Schmelztemperatur des Lötmetalls +50°C aufzuheizen. Das Erwärmen wurde für 30 Sekunden fortgesetzt, nachdem die Temperatur den voran stehenden Wert erreicht hatte, und dann wurde die elektrische Leistung abgeschaltet, um das verbundene Produkt abzukühlen. Die Kombination von Rädern, Wellen und Lot ist in der Tabelle 2 aufgeführt. Die Schmelztemperaturen des Lotes und die Austenittemperaturen der Welle sind auch in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2

Lauf Nr.	Material des Rades aus TiAl	Lot Sorte	Schmelz- temp. (°C)	Wellenmaterial	
				Stahl- Code	Austenit- temp. (°C)
Erfindung					
1	33.5Al	BAG-13A	893°C	SNCM439	750°C
2	33.5Al	A	820°C	SNCM439	750°C
3	33.5Al	B	1000°C	SNCM439	750°C
4	33.5Al	C	960°C	SNCM439	750°C
5	33.5Al	BNi-3	1040°C	SNCM439	750°C
6	34.0Al	BNi-3	1040°C	SUH11	850°C
Kontrollbeispiel					
1	33.5Al	BAG-7	650°C	SNCM439	750°C
2	34.0Al	BAG-7	650°C	SUH11	850°C
3	34.0Al	A	820°C	SUH11	850°C

[0051] Die Bearbeitungszeiten, welche von dem Beginn des Erwärmens bis zu der Beendigung des Lötens benötigt wurden, waren bis zu 90 Sekunden kurz, sogar bei dem längsten Fall mit der höchsten Heiztemperatur. Die Hälfte der auf diese Weise hergestellten Turbinenrotoren wurden einem Torsionstest bei Raumtemperatur unterzogen, als sie verbunden waren, und die restlichen wurden dem Test unter den in Tabelle 3 dargestellten Bedingungen unterzogen, nachdem sie gehärtet und Wärme behandelt waren. Das Härten und die Wärmebehandlung wurden in Übereinstimmung mit der Angabe in JIS G 4103 und 4311 ausgeführt. Beide Muster wurden bearbeitet, um einen Durchmesser von 16 mm an den verbundenen Abschnitten vor dem Test zu besitzen. Die Testergebnisse sind zusammen mit den Bedingungen des Härstens und der Wärmebehandlung der verbundenen Produkte in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3

Nr.	Bedingung des Härstens und der Wärmebehandlung	Zerbrechendes Torsionsdrehmoment (kgf·m)	
		verbunden	gehärtet
Erfindung			
1	820°C/0.5hr/OQ+600°C/1hr/WC	12.1	11.3
2	820°C/0.5hr/OQ+600°C/1hr/WC	14.9	15.0
3	820°C/0.5hr/OQ+600°C/1hr/WC	12.7	12.5
4	820°C/0.5hr/OQ+600°C/1hr/WC	13.9	13.1
5	820°C/0.5hr/OQ+600°C/1hr/WC	17.5	17.1
6	1000°C/0.5hr/OQ+750°C/1hr/WC	18.2	17.5
Kontrollbeispiel			
1	820°C/0.5hr/OQ+600°C/1hr/WC	9.2	2.1
2	1000°C/0.5hr/OQ+750°C/1hr/WC	8.5	1.3
3	1000°C/0.5hr/OQ+750°C/1hr/WC	15.1	4.2

[0052] Alle verbundenen Teile wiesen verbunden ein zerbrechendes Torsionsdrehmoment von $8 \text{ kgf} \times \text{m}$ oder mehr auf, was für eine Bindungsfestigkeit für Turbinenrotorwellen befriedigend ist. Auf der anderen Seite wiesen einige der gehärteten und Wärme behandelten Muster, bei welchen die Schmelztemperaturen des Lötmetalls geringer als die Austenittemperaturen des Wellenmetalls waren, Lauf-Nrn. 1–3 der Kontrollbeispiele, eine deutlich verringerte Festigkeit nach der Hitzebehandlung auf.

Beispiel 2

[0053] Wie in **Fig. 3** dargestellt wurde der gesamte Wellenabschnitt durch HF-Erwärmung aufgeheizt, um ihn so gleichzeitig mit dem Löten zu härten. Das Turbinenrad aus TiAl, das Wellenteil, das Lot und die Verbindungsbedingungen sind dieselben wie die bei der Erfindungs-Nr. 6 in Beispiel 1. Der einzige Unterschied war, dass ein Abschrecken nach der Beendigung des Aufheizens und der gleichmäßigen Erwärmung durch Einblasen von Argongas in den Zwischenraum in die Glasabdeckung aus den aus Hitze beständigem Glas hergestellten Düsen für kühlendes Gas bezüglich des Wellenteils ausgeführt wurde, um es so zum Härten abzuschrecken. Die auf diese Weise hergestellten Rotoren wurden dem Torsionstest bei Raumtemperatur und einer Härtemessung an verschiedenen Stellen des Wellenteils unterzogen. Die gemessenen Härten sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4

Abstand vom verbundenen Abschnitt (mm)	Oberflächen- schicht	Mitte
5	57.2	54.2
50	56.8	53.2
95	57.9	54.7

[0054] Die Härte nach dem Härten war an verschiedenen Stellen HRC53 oder höher, was befriedigend ist, obwohl die Daten in der Mitte etwas niedriger als die an der Oberfläche waren. Das zerbrechende Torsionsdrehmoment bei Raumtemperatur war $17,4 \text{ kgf} \times \text{m}$, was auf demselben Niveau wie die Daten in Tabelle 3 von Beispiel 1 liegt.

Beispiel 3

[0055] Dieselben Verfahren aus Beispiel 1 wurden wiederholt, um Turbinenrotoren herzustellen. Turbinenräder aus TiAl mit einem Durchmesser von 52 mm wurden durch Präzisionsformguss mit einer 33,5Al-Legierung hergestellt. Die Wellen wurden aus SNCM439 Stahlstangen mit einem Durchmesser von $D_0 = 17 \text{ mm}$ und einer Länge von 110 mm hergestellt. Das verwendete Lot ist eine Folie von 50 μm Dicke, welche aus dem vorab erwähnten Lötmetall "A" hergestellt ist. Tabelle 5 zeigt die Formen und Größen der Turbinenrotoren und der Wellen an dem verbindenden Abschnitt.

Tabelle 5

Nr.	TiAl Turbinenrad					Welle			aus TiAl	
	Form	H1	H2	D1	D2	Form	H1	H2	D1	D2
Erfindung				Prj.: mit Vorsprung,				Rcs.: mit Vertiefung		
1	Prj.	-	1.0	-	12.5	Rcs.	1.5	-	13.0	-
2	Rcs.	2.0	-	7.0	-	Prj.	-	1.0	-	6.8
3	Prj.	-	1.0	-	7.9	Rcs.	6.0	-	8.0	-
4	Rcs.	8.0	-	10.0	-	Prj.	-	1.0	-	9.9
Kontrollbeispiele				Pln.: eben						
1	Pln.	-	-	-	-	Pln.	-	-	-	-
2	Rcs.	2.0	-	7.0	-	Prj.	-	1.0	-	4.0
3	Prj.	-	1.0	-	15.5	Rcs.	1.5	-	16.0	-

[0056] Das Verbinden wurde unter HF-Erwärmung ausgeführt. Ein Lot wurde zwischen die zu verbindenden Oberflächen eingefügt, und das obere Ende der Welle wurde nach unten gedrückt, um eine Belastung von 0,5 kgf/mm² auf die zu verbindenden Schnittstellen zu legen. Um die Atmosphäre der zu verbindenden Teile während des Aufheizens neutral zu halten, wurden die Teile mit einer Hitze beständigen Glasabdeckung abgedeckt und Argongas wurde in den Zwischenraum in die Abdeckung zur Abschirmung zugeführt. Die Hitze durch HF-Erwärmung wurde durch eine um die Glasabdeckung herum installierte Heizspirale erzeugt. Die zu verbindenden Teile wurden auf eine Temperatur von 850°C aufgeheizt und bei dieser Temperatur für 30 Sekunden gehalten, und dann wurde die elektrische Leistung zum Kühlen abgeschaltet.

[0057] Um die Abweichung der Achse des Turbinenrades aus TiAl und der Achse der Welle nach dem Verbinden des Produktes zu bestimmen, wurden die Rotoren mit fixierter Position der Welle gedreht, wie in **Fig. 9** dargestellt, und die maximalen Werte der Änderungen der Außendurchmesser der Turbinenräder wurden als die "Nicht-Maßhaltigkeit" der Achsen gemessen. Die Werte der Nicht-Maßhaltigkeit sind gemittelte Werte von jeweils drei Proben. Nach der Messung wurden die Musterprodukte einer Wärmebehandlung mit Aufheizen auf 600°C für 30 Minuten gefolgt von einer Luftkühlung unterzogen. Die verbundenen Teile wurden dann dem Torsionstest unterzogen.

[0058] Die Testergebnisse sind mit D_1^2/D_0^2 (Prozentualer Anteil der Vertiefung im Querschnittsbereich an der verbindenden Schnittstelle), $D_1 - D_2$ (Differenz der Durchmesser des Vorsprunges und der Vertiefung) und $H_1 - H_2$ (Differenz der Tiefe der Vertiefung und der Höhe des Vorsprunges) in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6

Nr.	D_1^2/D_0^2 (mm)	D_1-D_2 (mm)	H_1-H_2 (mm)	Nicht-Maß- haltigkeit der Welle (mm)	Zerbrechendes Torsionsdreh- moment (mm)
Erfindung					
1	0.58	0.50	0.50	0.53	11.2
2	0.17	0.20	1.00	0.24	13.2
3	0.22	0.10	5.00	0.16	14.9
4	0.35	0.10	7.00	0.21	13.1
Kontrollbeispiel					
1	-	-	-	1.10	13.9
2	0.17	3.00	1.00	1.31	9.2
3	0.89	0.50	0.50	0.36	2.3

[0059] Es wurde herausgefunden, dass die Nicht-Maßhaltigkeit der Achsen der Turbinenrotoren, welche durch Montage eines Vorsprunges und einer Vertiefung gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt sind, viel kleiner als die des Kontrollbeispiels Nr. 1, an welchem die verbundenen Oberflächen eben sind, ist. Der Rotor des Kontrollbeispiellaufs Nr. 13, bei dem $D_1^2/D_0^2 > 0,8$ galt, wies kein befriedigendes zerbrechendes Torsionsdrehmoment auf, weil der verbundene Bereich zu klein war. Auch der Rotor des Kontrollbeispiellaufs Nr. 3, bei dem $D_1 - D_2 > 1,0$ mm galt, besitzt eine große Nicht-Maßhaltigkeit wie in dem Fall, in dem die verbundenen Oberflächen eben sind, auf Grund der zu großen Lücke bei der Montage des Vorsprunges und der Vertiefung.

Beispiel 4

[0060] Bei der Verwendung von TiAl gemäß der in Tabelle 7 dargestellten Legierungszusammensetzungen werden TiAl-Turbinenräder derselben Form und Größe (Durchmesser 52 mm) erstellt. Das Wellenmaterial und das Lötmetall werden, wobei die Legierungszusammensetzungen davon auch in Tabelle 7 dargestellt sind, mit den voran stehenden Turbinenrädern kombiniert, um Turbinenrotoren herzustellen. Die verwendeten Wellenmaterialien waren SNCM439 und SUH11, welche auch in Beispiel 1 verwendet wurden. An dem verbindenden Abschnitt ragen die Wellen mit $D_1 = 8$ mm und $H_1 = 6$ mm heraus, und die Räder aus TiAl sind mit $D_2 = 7,9$ mm und $H_2 = 1$ mm vertieft.

Tabelle 7

Nr.	Rad aus TiAl	Welle		Lot	
	Legierungszusammen- setzung (wt.%)	Stahl- Code	Austenit- temp. (°C)	Sorte	Schmelz- temp. (°C)
Erfindung					
1	Ti-33.5Al-0.5Cr-1Nb-0.5Si	SNCM439	750°C	BAG-13A	893°C
2	Ti-33.5Al-0.5Cr-1Nb-0.5Si	SNCM439	750°C	A	820°C
3	Ti-33.5Al-0.5Cr-1Nb-0.5Si	SNCM439	750°C	B	1000°C
4	Ti-33.5Al-0.5Cr-1Nb-0.5Si	SNCM439	750°C	C	960°C
5	Ti-33.5Al-0.5Cr-1Nb-0.5Si	SNCM439	750°C	BNi-3	1040°C
6	Ti 34.Al-1Cr-5Nb-0.2Si	SUH11	850°C	BNi-3	1040°C
Kontrollbeispiel					
1	Ti-33.5Al-0.5Cr-1Nb-0.5Si	SNCM439	750°C	BAG-7	650°C
2	Ti-34Al-1Cr-5Nb-0.2Si	SUH11	850°C	BAG-7	650°C
3	Ti-34Al-1Cr-5Nb-0.2Si	SUH11	850°C	A	820°C

[0061] Das Verbinden wurde mit HF-Erwärmung, wie in Beispiel 1, mit derselben Belastung auf den zu verbindenden Schnittstellen von 0,5 kgf/mm² ausgeführt. Die zu verbindenden Teile wurden auf eine Temperatur von Schmelztemperatur +50°C aufgeheizt und bei derselben Temperatur für 30 Sekunden gleichmäßig erwärmt. Dann wurde die elektrische Leistung abgeschaltet, um zu kühlen.

[0062] Die auf diese Weise erhaltenen Turbinenrotoren wurden bearbeitet, um einen Durchmesser von 16 mm an den verbundenen Abschnitten zu erhalten, und wie verbunden oder nach einem Härten und einer Wärmebehandlung unter den in Tabelle 8 dargestellten Bedingungen einem Torsionstest unter Raumtemperatur unterzogen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8

Nr.	Bedingung des Härtens und der Wärmebehandlung	Zerbrechendes Torsionsdrehmoment (kgf·m) verbunden	gehärtet
Erfindung			
1	820°C/0.5hr/OQ+600°C/1hr/WC	11.9	11
2	820°C/0.5hr/OQ+600°C/1hr/WC	12.5	13.1
3	820°C/0.5hr/OQ+600°C/1hr/WC	11.5	11.9
4	820°C/0.5hr/OQ+600°C/1hr/WC	12.8	12
5	820°C/0.5hr/OQ+600°C/1hr/WC	15.6	15.1
6	1000°C/0.5hr/OQ+750°C/1hr/WC	17.5	15.5
Kontrollbeispiel			
1	1000°C/0.5hr/OQ+750°C/1hr/WC	7.6	2.3
2	1000°C/0.5hr/OQ+650°C/1hr/WC	8.1	0.9
3	1000°C/0.5hr/OQ+750°C/1hr/WC	14.3	5.1

[0063] Alle erfindungsgemäßen Turbinenrotoren, Erfindungslauf-Nrn. 1–6, sowohl die verbundenen als auch die gehärteten und Wärme behandelten, wiesen ein zerbrechendes Torsionsdrehmoment von 10 kgf × m oder höher auf, was bezüglich der Bindungsfestigkeit befriedigend ist.

[0064] Auf der anderen Seite wiesen die Kontrollbeispielllauf-Nrn. 1-3 der gehärteten und Wärme behandelten Muster, bei welchen die Schmelztemperaturen des Lötmetalls gleich oder niedriger als die Austenittemperaturen des Wellenmetalls waren, eine deutlich herabgesetzte Festigkeit nach der Wärmebehandlung auf, was für Turbinenrotoren unbefriedigend ist.

Beispiel 5

[0065] Ein Turbinenrad aus TiAl und ein Wellenteil, welche dieselben wie die in Beispiel 4, Erfindungslauf-Nr. 5 verwendeten sind, wurden unter Verwendung desselben Lotes verbunden, und der auf diese Weise erhaltene Turbinenrotor wurde gehärtet und Wärme behandelt. Das Härten wurde mittels HF-Erwärmung durchgeführt, um die gesamte Welle aufzuheizen, wobei die aufgeheizte Temperatur gehalten wurde und nach Beendigung des Verbindens mit Argongas abgeschreckt wurde, welches aus Düsen für abschreckendes Gas geblasen wurde, welche aus Hitze beständigem Glas hergestellt sind.

[0066] Die auf diese Weise hergestellten Rotoren wurden einem Torsionstest bei Raumtemperatur und einer Härtemessung an verschiedenen Stellen des Wellenteiles unterzogen. Das zerbrechende Torsionsdrehmoment bei Raumtemperatur war 13,7 kgf × m. Die Härte an der Oberfläche war HRC 55, was befriedigend ist.

Beispiel 6

[0067] Der Turbinenrotor aus Erfindungslauf-Nr. 3 in Beispiel 3, bei welchem eine Aushöhlung in dem verbundenen Abschnitt ausgebildet ist, und der Turbinenrotor aus dem Kontrollbeispielllauf-Nr. 1 auch aus dem Beispiel 3, bei welchem keine Aushöhlung ausgebildet ist, wurden bearbeitet, um einen Durchmesser an dem verbundenen Abschnitt von $D_0 = 15$ mm zu erhalten, und der von Lagern zu haltende Abschnitt wurde durch HF-Erwärmung gehärtet. Turbolader wurden unter Verwendung dieser Turbinenrotoren zusammengebaut und praktischen Motorentests unterzogen, wobei ein Dieselmotor mit 4000 rpm über 100 Stunden verwendet wurde. Es wurde eine Farbveränderung an dem durch ein Lager gehaltenen Wellenabschnitt des Rotors des Kontrollbeispielllaufes Nr. 1, welcher keine Aushöhlung besitzt, festgestellt. Dies deutet auf einen bemerkbaren Temperaturanstieg hin. Auf der anderen Seite wurde keine Farbveränderung an der Welle des Motors der Erfindungslauf-Nr. 3, welcher eine Aushöhlung besitzt, festgestellt. Dies beweist, dass der Temperaturanstieg geringer war.

Patentansprüche

1. Turbinenrotor (a) aus TiAl, bestehend aus einem durch Präzisionsformguss hergestellten Turbinenrad aus TiAl und einer aus einem Baustahl oder einem martensitischen Hitze beständigen Stahl hergestellten Rotorwelle (b), welche damit verbunden ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Vertiefung und ein Vorsprung oder ein Vorsprung und eine Vertiefung kreisförmig an der Basis des Rades und dem Ende der Welle vorhanden sind, und dass die Vertiefung und der Vorsprung angebracht sind und die die Vertiefung umgebende ringförmige Oberfläche und die den Vorsprung umgebende ringförmige Oberfläche durch Löten verbunden sind.

2. Turbinenrotor aus TiAl nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das für das Turbinenrad (a) aus TiAl verwendete TiAl die Legierungszusammensetzung besitzt, welche in Gewichtprozent zusätzlich zu Al: 31–35% zumindest eins aus Cr, Mn und V in einer Gesamtmenge von 0,2–4,0% umfasst, wobei der Rest Ti und anfallende Fremdstoffe sind.

3. Turbinenrotor aus TiAl nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das für das Turbinenrad (a) aus TiAl verwendete TiAl die Legierungszusammensetzung besitzt, welche in Gewichtprozent zusätzlich zu Al: 31–35% zumindest eins aus Nb, Ta und W in einer Gesamtmenge von 0,2–8,0% umfasst, wobei der Rest Ti und anfallende Fremdstoffe sind.

4. Turbinenrotor aus TiAl nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das für das Turbinenrad (a) aus TiAl verwendete TiAl die Legierungszusammensetzung besitzt, welche in Gewichtprozent zusätzlich zu Al: 31–35% Si: 0,01–1,00% umfasst, wobei der Rest Ti und anfallende Fremdstoffe sind.

5. Turbinenrotor aus TiAl nach einem der Ansprüche 2–4, dadurch gekennzeichnet, dass die Fremdstoffe in Gewichtprozent Zr mit weniger als 1,0%, Fe mit weniger als 1,0%, C mit weniger als 0,2%, O mit weniger als 0,2% und N mit weniger als 0,2% sind.

6. Turbinenrotor aus TiAl nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Welle (b) des Rotors gehärtet und Wärme behandelt ist und einer Oberfläche härtenden Behandlung unterzogen ist.

7. Verfahren zum Herstellen eines Turbinenrotors aus TiAl bestehend aus einem durch Präzisionsformguss hergestellten Turbinenrad (a) aus TiAl und einer aus einem Baustahl oder einem martensitischen Stahl hergestellten Welle (b), dadurch gekennzeichnet,
dass die Basis eines Turbinenrades aus TiAl und das Ende einer Rotorwelle aus dem Stahl bearbeitet werden, um einen Vorsprung und eine Vertiefung oder eine Vertiefung und einen Vorsprung konzentrisch zu den Profilen dieser Teile zu bilden;
dass der Vorsprung und die Vertiefung angebracht werden, und ein Lot (d) an dem ringförmigen Bereich um den angebrachten Vorsprung und die Vertiefung herum eingefügt wird;
dass eine Belastung von 0,01 kgf/mm² oder höher, aber geringer als die Fließspannung der Welle und des Rotorrades bei der Verbindungstemperatur auf die Schnittstellen zwischen dem Lot und den zu verbindenden Teilen angewendet wird;
dass das Rad und die zu verbindende Welle durch Hochfrequenzinduktionserwärmung in einer Atmosphäre von Inertgas oder Reduktionsgas auf eine Temperatur aufgeheizt werden, welche höher als die Schmelztemperatur des Lötmetalls ist, aber die Schmelztemperatur nicht um 100°C übersteigt,
und dass die Teile bei der Temperatur gehalten werden, um ein Verbinden durch Löten auszuführen.

8. Verfahren zum Herstellen eines Turbinenrotors aus TiAl nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass sowohl das Turbinenrad (a) als auch die Welle (b) unter Hochfrequenzinduktionserwärmung in einer Atmosphäre von nicht oxidierendem Gas auf eine Temperatur über der Austenittemperatur des Wellenmaterials gelötet werden;
und dass ein kühlendes Gas eingeblasen wird oder eine kühlende Flüssigkeit an die Welle geströmt wird, um sie abzuschrecken und zu härten.

9. Verfahren zum Herstellen eines Turbinenrotors aus TiAl nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass ein Lötmetall, welches Ag, Ni, Cu oder Ti als den Hauptbestandteil davon enthält und einen Schmelzpunkt von 800°C oder höher besitzt, als das Lot (d) zum Verbinden verwendet wird.

10. Verfahren zum Herstellen eines Turbinenrotors aus TiAl nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Lötmetall (d) und das Wellenmaterial (b) derart kombiniert werden, dass die Schmelztemperatur des Lötmetalls höher als die Austenittemperatur des Wellenmaterials ist.

11. Verfahren zum Herstellen eines Turbinenrotors aus TiAl nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass es eine Lücke von bis zu 1 mm zwischen der inneren Oberfläche der Vertiefung und der äußeren Oberfläche des Vorsprunges gibt; und dass die Durchmesser des Vorsprunges und der Vertiefung derart gewählt sind, dass der gelötete ringförmige Bereich 20% oder mehr des Querschnittes des verbundenen Abschnittes belegt.

12. Verfahren zum Herstellen eines Turbinenrotors aus TiAl nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Tiefe der Vertiefung größer als die Höhe des Vorsprunges ist und somit eine Aushöhlung von einer Länge von bis zu 15 mm in dem Verbindungsabschnitt ausgebildet wird.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

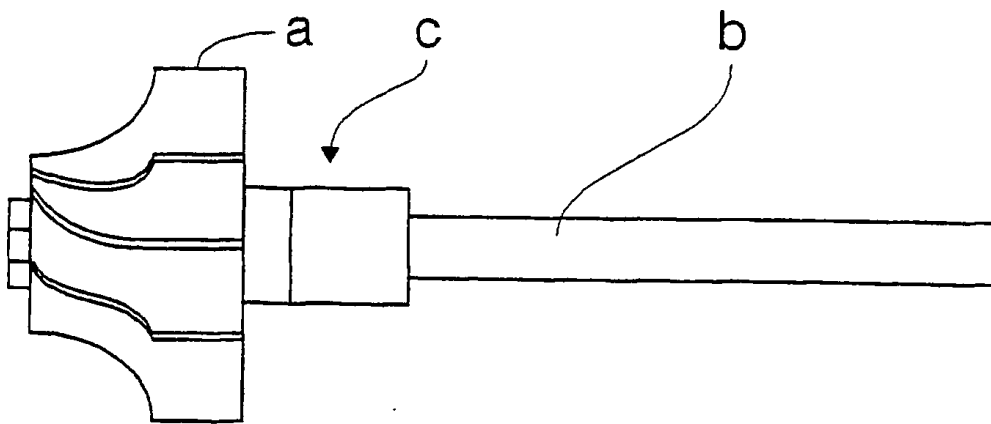


FIG. 1

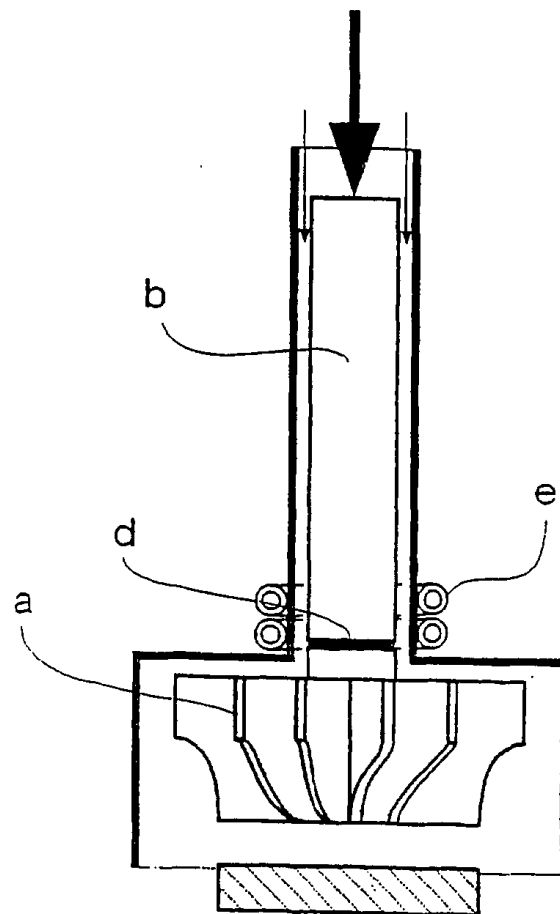


FIG. 2

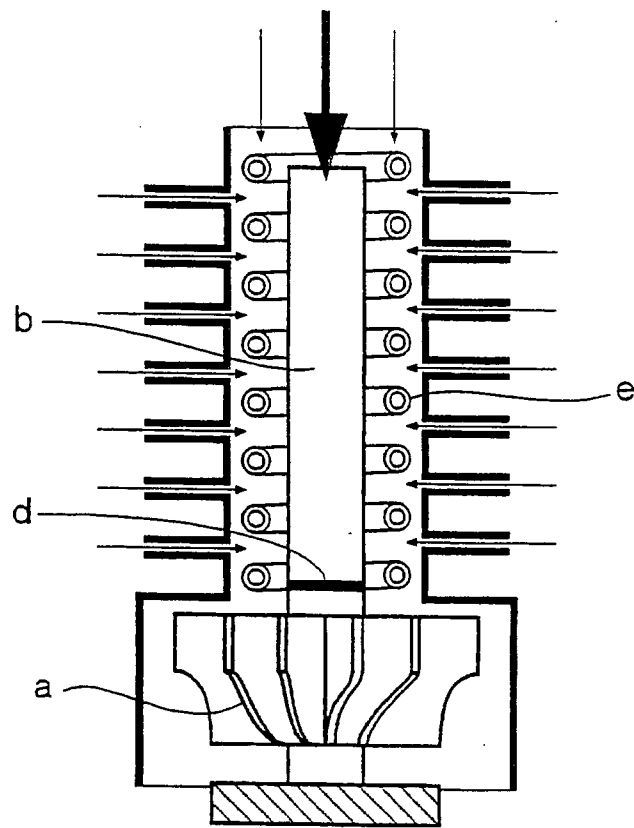


FIG. 3

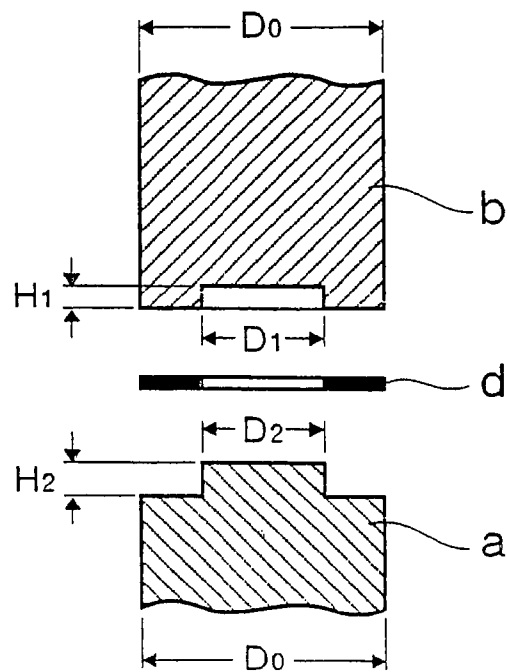


FIG. 4

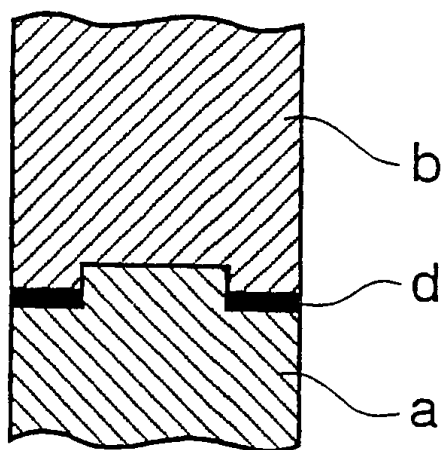


FIG. 5

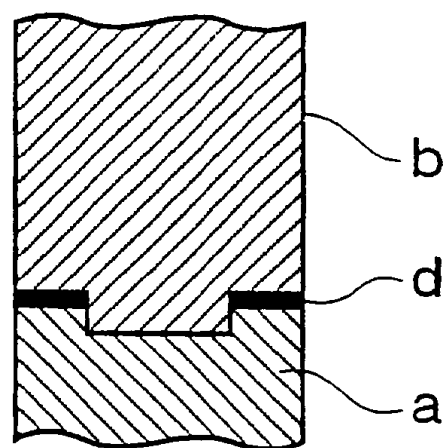


FIG. 6

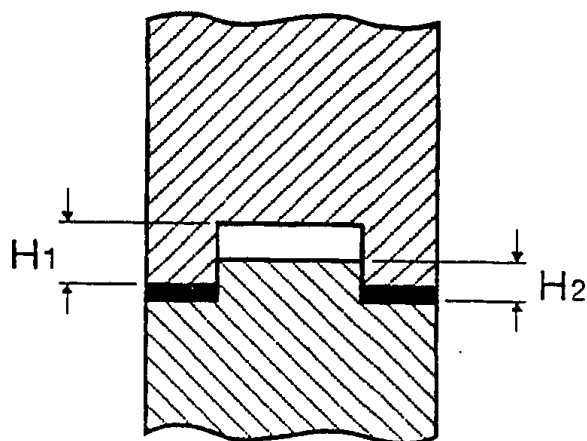


FIG. 7

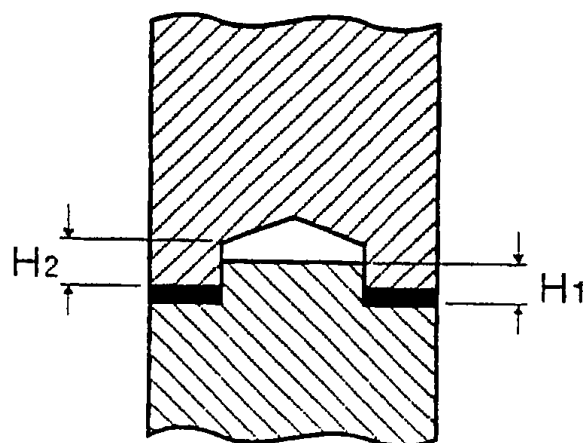


FIG. 8

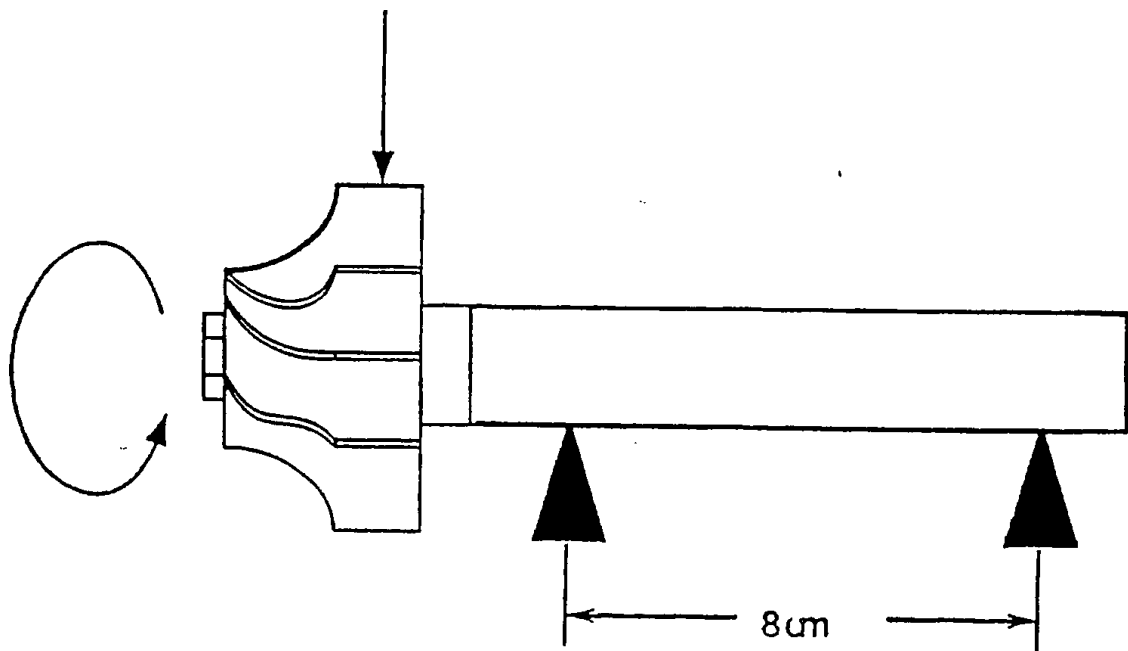


FIG. 9