

(19)



Europäisches
Patentamt
European
Patent Office
Office européen
des brevets



(11)

EP 1 785 585 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:

16.05.2007 Patentblatt 2007/20

(51) Int Cl.:

F01D 5/06 (2006.01)(21) Anmeldenummer: **05024432.6**(22) Anmeldetag: **09.11.2005**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI
SK TR**

Benannte Erstreckungsstaaten:

AL BA HR MK YU(71) Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
80333 München (DE)**

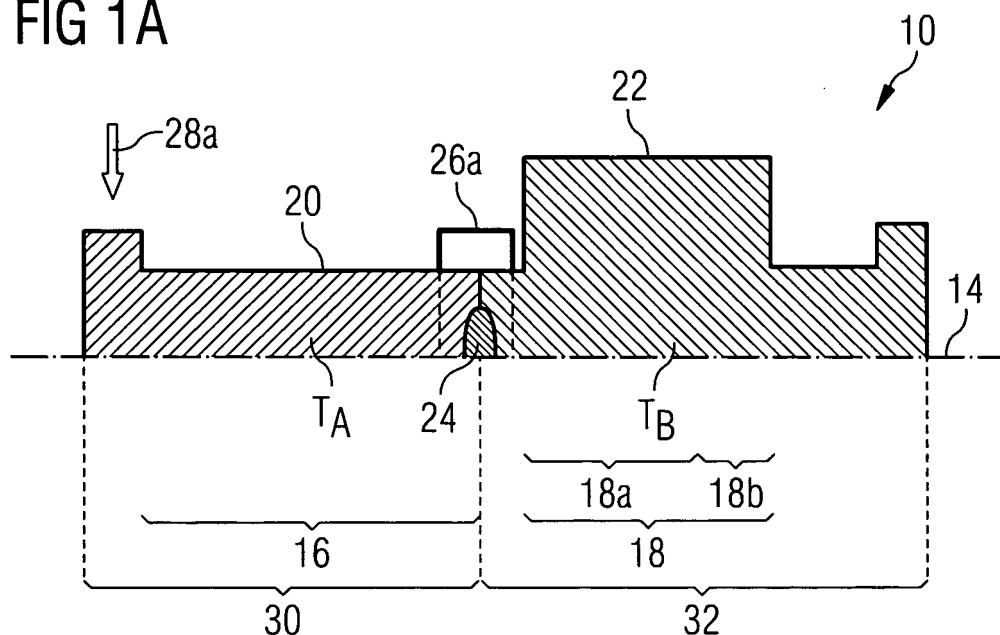
(72) Erfinder:

- **Janssen, Wolfgang, Dr.
42579 Heiligenhaus (DE)**
- **Kern, Torsten-Ulf, Dr.
46485 Wesel (DE)**

(54) **Verfahren zum Herstellen einer Dampfturbinenwelle**

(57) Ein Verfahren zum Herstellen einer Dampfturbinenwelle (10, 12) mit mindestens zwei auf unterschiedliche Dampfstände ausgelegten Wellenabschnitten (30, 32) mit den Schritten eines Bereitstellens eines ersten Wellenabschnitts (30) aus einem CrMo-Stahl mit einer in Bezug auf eine bestimmte Anlassdauer ersten Anlasstemperatur T_A zum Einstellen von an einen ersten Dampfstand angepassten mechanischen Eigenschaften, sowie eines zweiten Wellenabschnitts (32) aus einem NiCrMoV-Stahl mit einer in Bezug auf die bestimmte Anlassdauer zweiten Anlasstemperatur T_B zum Einstel-

len von an einem gegenüber dem ersten Dampfstand niedrigeren Dampfstand angepassten mechanischen Eigenschaften, sowie eines Verschweißens der beiden Wellenabschnitte (30, 32), ist erfindungsgemäß insbesondere dadurch gekennzeichnet, dass das Verschweißen lediglich einen Schweißvorgang umfasst, sowie dass das Verfahren weiterhin ein gezieltes Wärmenachbehandeln in zumindest dem Verbindungsbereich (24) der beiden Wellenabschnitte (30, 32) umfasst, welches zumindest zum zweiten Wellenabschnitt (32) hin gezielt auf die Wärmeeinflusszone (26a, 26b) des Schweißvorgangs beschränkt ist.

FIG 1A

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen einer Dampfturbinenwelle mit mindestens zwei auf unterschiedliche Dampfzustände ausgelegten Wellenabschnitten mit den Schritten eines Bereitstellens eines ersten Wellenabschnitts aus einem CrMo-Stahl mit einer in Bezug auf eine bestimmte Anlassedauer ersten Anlasstemperatur T_A zum Einstellen von an einen ersten Dampfzustand angepassten mechanischen Eigenschaften, sowie eines zweiten Wellenabschnitts aus einem NiCrMoV-Stahl mit einer in Bezug auf die bestimmte Anlassedauer zweiten Anlasstemperatur T_B zum Einstellen von an einem gegenüber dem ersten Dampfzustand niedrigeren Dampfzustand angepassten mechanischen Eigenschaften, sowie eines Verschweißens der beiden Wellenabschnitte.

[0002] Die oben genannten Dampfturbinenwellen können etwa kombinierte Mitteldruck(MD)-Niederdruck (ND)-Dampfturbinenwellen (E-Wellen) und mögliche Baureihen in der Form Hochdruck-Mitteldruck-Niederdruck-Wellen umfassen. Der Frischdampf wird bei diesen Wellen in einen ersten Teilabschnitt der Welle eingeleitet, entspannt sich in der Folge und kühlt dabei gleichzeitig ab. Im ersten Abschnitt werden deshalb warmfeste Eigenschaften gefordert für beispielsweise $T > 400^\circ\text{C}$ (HD-, MD-Turbine oder kombinierte HD-MD-Teile), im zweiten kühleren Abschnitt stehen dagegen kaltzähe Eigenschaften im Vordergrund. Im Stand der Technik bekannte Dampfturbinenwellen werden z.B. als Monoblockwellen ausgebildet, die beide notwendigen Eigenschaften (Warmfestigkeit sowie Kaltzähigkeit) mit gewissen Einschränkungen kombinieren. Allerdings weisen diese Dampfturbinenwellen im Bereich des Turbinenteils für den höheren Dampfzustand als auch dem Turbinenteil für den niedrigeren Dampfzustand nicht optimale mechanische Eigenschaften auf. Insbesondere stößt das Konzept an die Festigkeits/Zähigkeitsgrenzen im an den niedrigeren Dampfdruck angepassten Wellenabschnitt.

[0003] Bei einem im Stand des Technik bekannten Verfahren der eingangs genannten Art wird bei Turbinenwellen der "Straight Flow"-Bauart, bei denen der Dampf durchgängig in einer Richtung durch die verschiedenen Druckbereiche strömt, auf eine geschweißte Bauart zurückgegriffen. Dabei wird auf den auf einen höheren Dampfzustand ausgelegten ersten Wellenabschnitt eine Pufferschweißung aufgetragen, die daraufhin mit einer Temperatur T_1 ($T_1 < T_A$) geglüht wird. Bei der Pufferschweißung wird passendes Material mit hoher Warmfestigkeit aufgeschweißt. Danach folgt die Verbindung der beiden Wellenabschnitte über das Material der Pufferschweißung durch Schweißen und abschließende Glühung mit einer gegenüber der Temperatur T_1 geringeren Temperatur ($T_2 < T_B < T_A$). Bei diesem vorbekannten Verfahren müssen hohe Härten und Eigenspannungen in den Wärmeeinflusszonen durch höchstmögliche Anlasstemperaturen in den relevanten Bereichen der

Schweißung vermieden werden, ohne das Eigenschaftsprofil der bereits gefertigten Wellenabschnitte nachteilig zu beeinflussen.

[0004] Eine der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe besteht darin, ein Verfahren der vorstehend genannten Art dahingehend zu verbessern, dass eine Absenkung der Härtewerte sowie eine Reduzierung der Restspannungen in der Schweißnaht ohne Verringerung der Festigkeit des zweiten Wellenabschnitts in den konstruktiv höher beanspruchten Bereichen auf unaufwendige Weise realisiert werden kann.

[0005] Diese Aufgabe ist erfindungsgemäß mit einem gattungsgemäßen Verfahren zum Herstellen einer Dampfturbinenwelle gelöst, bei dem das Verschweißen lediglich einen Schweißvorgang umfasst, wobei das Verfahren weiterhin den Schritt eines gezielten Wärmenachbehandelns in zumindest dem Verbindungsbereich der beiden Wellenabschnitte umfasst, bei dem das gezielte Wärmenachbehandeln zumindest zum zweiten Wellenabschnitt hin gezielt auf die Wärmeeinflusszone des Schweißvorgangs beschränkt ist.

[0006] Die gezielte Wärmenachbehandlung in der Temperatur umfasst insbesondere eine Einstellung gezielter Gradienten in der Temperatur zur Vermeidung unzulässigen Wärmeeintrags zumindest in den an die Wärmeeinflusszone des Schweißvorgangs angrenzenden Bereich des zweiten Wellenabschnitts. Die erzielte Wärmenachbehandlung in dem Verbindungsbereich der beiden Wellenabschnitte kann insbesondere durch die Anwendung von Heizmatten oder mittels um die zu erwärmenden Teilstücke gebauten Öfen erfolgen.

[0007] Die mechanischen Eigenschaften des zweiten Wellenabschnitts werden bereits beim Schmiedestückhersteller an die Anforderungen des niedrigeren Dampfzustands angepasst. Dies kann insbesondere durch eine Wärmevorbehandlung mit der Anlasstemperatur T_B über den Zeitraum der bestimmten Anlassedauer erfolgen. Durch die erfindungsgemäße gezielte Wärmenachbehandlung des Verbindungsbereichs werden die mechanischen Eigenschaften des zweiten Wellenabschnitts nicht mehr verändert.

[0008] Durch die gezielte Beeinflussung des Verbindungsbereichs der beiden Wellenabschnitte ergibt sich eine Absenkung der Härtewerte in der Schweißnaht, was eine Verringerung der metallurgischen Kerbwirkung zur Folge hat. Damit werden wiederum die Bruchzähigkeit, die Schwingfestigkeit und die Verformungseigenschaften des Verbindungsbereichs der beiden Wellenabschnitte verbessert. Die kombinierten geschweißten Wellen zeigen damit optimale Eigenschaften in den Schweißverbindungen hinsichtlich Härte, Zähigkeit, Festigkeit und Kerbverhalten auf. Die Eigenschaften des sich an die Schweißnaht anschließenden zweiten Wellenabschnitts werden hinsichtlich seines Festigkeits- und Zähigkeitsverhalten nicht nachteilig beeinflusst.

[0009] Das erfindungsgemäße Verfahren umfasst lediglich einen Schweißvorgang und weist insbesondere beim Verschweißen nicht den Schritt einer zusätzlichen

Pufferschweißung auf, d.h., die beiden Wellenabschnitte werden direkt verschweißt. Damit wird auch keine zusätzliche Zwischenglühung benötigt. Das Herstellungsverfahren ist damit unaufwändiger und somit kosteneffizienter. Vorteilhafterweise umfasst das Verschweißen lediglich einen Schweißvorgang. Der erfindungsgemäße Schweißvorgang beinhaltet ein Verschweißen der beiden Wellenabschnitte mittels Wolfram-Inertgas-Engspaltschweißen (WIG-Engspaltschweißen) und/oder Unterpulver-Lichtbogenschweißen (UP-Schweißen).

[0010] In zweckmäßiger Ausführungsform ist die Wärmenachbehandlung auch zum ersten Wellenabschnitt hin gezielt auf die Wärmeeinflusszone des Schweißvorgangs beschränkt. Dies geschieht auch hier insbesondere durch Einstellung gezielter Gradienten zur Vermeidung unzulässigen Wärmeeintrags in den an die Wärmeeinflusszone des Schweißvorgangs angrenzenden Bereich des ersten Wellenabschnitts.

[0011] Vorzugsweise wird der erste Wellenabschnitt mit durch Wärmeverbehandlung an den ersten Dampfzustand angepassten mechanischen Eigenschaften bereitgestellt. Dies erfolgt bereits beim Schmiedestückhersteller, insbesondere durch Wärmeverbehandlung mit der ersten Anlasstemperatur T_A über die bestimmte Anlassdauer. Diese Anlassdauer liegt typischerweise im Bereich von 20 bis 100 Stunden.

[0012] Zweckmäßigerweise erfolgt die Wärmenachbehandlung mit einer Temperatur T_{WB} , die kleiner als die erste Anlasstemperatur T_A ist und den Wert der zweiten Anlasstemperatur T_B erreichen oder übertreffen kann. Damit ist sichergestellt, dass durch die Wärmenachbehandlung die Festigkeitseigenschaften des ersten Wellenabschnitts nicht verändert werden. Lediglich eine Erwärmung oberhalb der vorherigen Anlasstemperatur bewirkt nämlich eine Verringerung der Festigkeit eines gegebenen wärmebehandelten Werkstoffs. Dadurch, dass die Wärmenachbehandlungstemperatur T_{WB} den Wert der zweiten Anlasstemperatur T_B erreichen oder übertreffen kann, werden durch die Wärmenachbehandlung die Härtewerte in dem sich in den zweiten Wellenabschnitt hinein erstreckenden Bereich der Wärmeeinflusszone des Schweißvorgangs weiter abgesenkt. Im ersten Wellenabschnitt werden die Härtewerte und Spannungen ebenfalls optimiert abgesenkt. Dies ergibt eine weitere Verringerung der metallurgischen Kerbwirkung auf beiden Seiten.

[0013] In einer darüber hinaus vorteilhaften Ausführungsform wird der erste Wellenabschnitt mit einer durch Wärmeverbehandlung mit einer unterhalb der ersten Anlasstemperatur T_A liegenden reduzierten Anlasstemperatur T_A^* bereitgestellt, wobei die Wärmenachbehandlung mit einer Temperatur T_{WB} erfolgt, die größer als die reduzierte Anlasstemperatur T_A^* ist und höchstens den Wert der ersten Anlasstemperatur T_A aufweist. Die reduzierte Anlasstemperatur T_A^* liegt vorzugsweise mindestens 10% unter der ersten Anlasstemperatur T_A . Durch die Wärmeverbehandlung des ersten Wellenabschnitts mit der reduzierten Anlasstemperatur T_A^* wird

der Werkstoff des ersten Wellenabschnitts bereits auf eine für den Schweißvorgang günstige Ausgangshärte konditioniert. Durch die Wärmeverbehandlung wird also die Festigkeit des Werkstoffs höher als gefordert eingestellt, wodurch die Güte der Schweißverbindung nach der anschließenden Wärmebehandlung verbessert wird. Darüber hinaus kann durch die Wärmeverbehandlung mit der reduzierten Anlasstemperatur T_A^* die bei der Wärmenachbehandlung zur Einstellung der gewünschten mechanischen Eigenschaften des ersten Wellenabschnitts benötigte Anlassdauer reduziert werden. Insbesondere beträgt dabei die Anlassdauer, über die die Wärmenachbehandlung ausgeführt werden muss, weniger als 20 Stunden. Die reduzierte Anlassdauer ist damit auf eine Weise reduziert, dass die Schweißnaht während der Wärmenachbehandlung nicht zu viel Festigkeit verliert. Die Schweißverbindung erhält damit eine angemessene Verbindungsfestigkeit.

[0014] Zweckmäßigerweise sind darüber hinaus die mechanischen Eigenschaften des zweiten Wellenabschnitts bereits vor dem Verschweißen der beiden Wellenabschnitte an den zweiten Dampfzustand durch Wärmeverbehandlung angepasst.

[0015] In einer weiteren zweckmäßigen Ausführungsform umfasst die Wärmenachbehandlung auch den ersten Wellenabschnitt. Damit können die Wärmefestigkeitseigenschaften des ersten Wellenabschnitts in einem Arbeitsschritt mit der Wärmenachbehandlung des Verbindungsbereichs erreicht werden. Gleichzeitig können aber die mechanischen Eigenschaften des ersten Wellenabschnitts flexibel eingestellt werden.

[0016] Zweckmäßigerweise umfasst die Wärmenachbehandlung auch einen Teil des zweiten Wellenabschnitts, der sich insbesondere über einen vorderen Abschnitt eines Niederdruckturbinenbereichs der Turbinenwelle erstreckt. Ein verbleibender Endabschnitt des Niederdruckturbinenbereichs umfasst insbesondere eine letzte und insbesondere eine vorletzte Turbinenstufe des Niederdruckturbinenbereichs.

[0017] Diese Ausführungsform ist besonders bei Turbinen der so genannten "Straight Flow"-Bauart geeignet. Bei dieser Bauart wird der Dampf durch die beiden Wellenabschnitte ohne Richtungsumleitung direkt hindurchgeführt. Die warmfesten Eigenschaften werden bei dieser Turbinenbauart jedoch neben dem ersten Wellenabschnitt auch in den daran angrenzenden Bereichen des zweiten Wellenabschnitts benötigt. Durch die Wärmenachbehandlung des gesamten Wellenstrangs mit Ausnahme der letzten und vorletzten Turbinenstufe des Niederdruckturbinenbereichs wird eine optimale Absenkung der Härtewerte in den Wärmeeinflusszonen der Schweißnaht sowie der Restspannungen auf Werte von kleiner als 100 MPa erreicht. Weiterhin wird die Einstellung der Wärmefestigkeitseigenschaften des ersten Wellenabschnitts in einem Arbeitsschritt mit der Wärmenachbehandlung der Schweißnaht ermöglicht.

[0018] Um sicherzustellen, dass das Material des zweiten Wellenabschnitts nicht versprödet, ist vorteilhaft

terweise die Temperatur T_{WB} der Wärmenachbehandlung kleiner als eine Umwandlungstemperatur $A_{C1,B}$, oberhalb der im Material des zweiten Wellenabschnitts eine Umwandlung von einer kubisch-raumzentrierten Kristallstruktur in eine kubisch-flächenzentrierte Kristallstruktur stattfindet. Bei eisenhaltigen Materialien spricht man bei der Umwandlungstemperatur A_{C1} auch von einer Grenztemperatur für die Umwandlung von α - in γ -Eisen.

[0019] Zweckmäßigerweise umfasst das Verfahren lediglich einen Schweißvorgang. Insbesondere werden die beiden Wellenabschnitte direkt ohne zusätzliche Pufferung verschweißt.

[0020] In vorteilhafter Ausführungsform umfasst der erste Wellenabschnitt einen Mitteldruck- und/oder einen vorderen Abschnitt eines Niederdruckturbinenbereichs, und der zweite Wellenabschnitt umfasst einen Niederdruckturbinenbereich, insbesondere einen Endabschnitt des Niederdruckturbinenbereichs. Bei einer Turbinenwelle der "Reverse Flow"-Bauart umfasst der Endabschnitt vorzugsweise die letzte und die vorletzte Turbinenstufe des Niederdruckturbinenbereichs, welche gewöhnlicherweise mit LA-0 und LA-1 bezeichnet werden.

[0021] Bei einer Turbinenwelle der "Reverse Flow-Bauart" strömt der Frischdampf in einem Übergangsbereich zwischen einem auf einen höheren Dampfdruck ausgelegten Turbinenbereich und einem auf einen niedrigeren Dampfdruck ausgelegten Turbinenbereich, wie etwa einem Übergangsbereich zwischen einem MD- und einem ND-Bereich in die Turbine ein. Daraufhin strömt der Frischdampf in dem auf den höheren Dampfdruck ausgelegten Turbinenbereich bis zu einem Ende der Turbinenwelle entlang, woraufhin der Dampf dann wieder in den Übergangsbereich eingeführt wird. Daraufhin strömt der Dampf dann in die entgegengesetzte Richtung in dem auf den niedrigeren Dampfdruck ausgelegten Turbinenbereich entlang. Bei dieser Turbinenbauart tritt aufgrund der zwischen den unterschiedlichen Druckbereichen der Welle erfolgenden Einströmung im Einströmbereich eine hohe Temperatur auf. Damit muss auch ein an den Einströmbereich angrenzende Abschnitt des Niederdruckturbinenbereichs aus dem warmfesten Material des ersten Wellenabschnitts gefertigt sein. Die Schweißstelle wird daher in Niederdruckrichtung verschoben angeordnet. Damit besteht auch nicht die Gefahr, dass die hohen Einströmtemperaturen die Festigkeit der Schweißnaht beeinträchtigen. Vorteilhafterweise ist die Schweißnaht, wie vorstehend ausgeführt, an dem Übergang zu den letzten beiden Stufen der Niederdruckturbinen angeordnet.

[0022] In vorteilhafter Ausführungsform weist der erste Wellenabschnitt 1CrMoNiV-, wie etwa 30CrMoNiV5-11, 2CrMoNiWV, wie etwa 23CrMoNiWV8-8, 10-12%CrMoV-, wie etwa X22CrMoV12-1, X12CrMoWVbN10-1-1 oder X12CrMoVbN10-1, und/oder 8-11% CrMoCoB-Stahl auf. Weiterhin weist der zweite Wellenabschnitt vorteilhafterweise 2-3,5NiCr-Stahl, insbesondere 2-3,5NiCrMoV-Stahl, wie etwa 26NiCrMoV8-5,

26NiCrMoV14-5, 22CrNiMoV9-9-Stahl auf. Vorzugsweise enthalten die Werkstoffe jeweils 75 bis 80% Eisen. Alle prozentualen Anteilsangaben beziehen sich auf Gewichtsprozent. Um die Güte der Schweißverbindung weiter zu erhöhen, ist es zweckmäßig, wenn beim Verschweißen der beiden Wellenabschnitte 2% Ni-Charge und/oder 2,25 CrMoV-Charge als Schweißzusatzwerkstoffe verwendet werden.

[0023] Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäßen Verfahrens anhand der beigefügten schematischen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigt:

Fig. 1a eine Längsschnittansicht einer kombinierten Turbinenwelle der "Straight Flow"-Bauart mit einer lokalen Wärmenachbehandlung im Bereich der Schweißnaht,

Fig. 1b eine Längsschnittansicht einer kombinierten Turbinenwelle der "Reverse Flow"-Bauart mit einer lokalen Wärmenachbehandlung im Bereich der Schweißnaht,

Fig. 2a eine Längsschnittansicht einer kombinierten Turbinenwelle der "Straight Flow"-Bauart, mit einer einen Großteil der Turbinenwelle umfassenden Wärmenachbehandlung, sowie

Fig. 2b eine Längsschnittansicht einer kombinierten Turbinenwelle der "Reverse Flow"-Bauart, mit einer einen Großteil der Turbinenwelle umfassenden Wärmenachbehandlung.

[0024] Die Fig. 1a und 2a zeigen jeweils eine kombinierte Turbinenwelle der "Straight Flow"-Bauart in Längsschnittansicht. Diese sind jeweils um eine Rotationsachse 14 drehbar gelagert. Dabei weist die jeweilige Turbinenwelle 10 einen Mitteldruckturbinenbereich 16 und einen sich daran anschließenden Niederdruckturbinenbereich 18 auf. Es handelt sich damit bei der gezeigten Turbinenwelle 10 um eine so genannte E-Welle. Der Niederdruckturbinenbereich 18 weist einen vorderen Abschnitt 18a und einen die beiden letzten Turbinenstufen umfassenden Endabschnitt 18b auf. In weiteren nicht dargestellten Ausführungsformen der Erfindung können aber auch Hochdruck-, Mitteldruck- und Niederdruckturbinenbereiche analog kombiniert werden.

[0025] In den in den Fig. 1a und 2a dargestellten Turbinenwellen 10 der "Straight Flow"-Bauart ist jeweils im Mitteldruckturbinenbereich 16 ein Befestigungsbereich 20 für Mitteldruckturbinenschaufeln sowie im Niederdruckturbinenbereich 18 ein Befestigungsbereich 22 für Niederdruckturbinenschaufeln vorgesehen. Im Betrieb strömt Frischdampf an einer Frischdampfeinströmung 28a am linken Ende der Turbinenwelle 10 gemäß der Zeichnung ein, durchläuft den Mitteldruckturbinenbereich 16 und daraufhin den Niederdruckturbinenbereich 18. Ein den Mitteldruckturbinenbereich 16 enthaltender

erster Wellenabschnitt 30 besteht aus einem der folgenden Werkstoffe: 1CrMoNiV-, 2CrMoNiWV-, 10-12%Cr-MoV- und 8-11% CrMoCoB-Stahl. Ein sich daran anschließender, den Niederdruckturbinenbereich 18 enthaltender zweiter Wellenabschnitt 32 besteht aus 2-3,5NiCrMoV-Stahl.

[0026] Vor Herstellung der Turbinenwelle 10 gemäß Fig. 1a werden vom Schmiedestückhersteller sowohl der Mitteldruckturbinenbereich 16 als auch der Niederdruckturbinenbereich 18 zur Einstellung der jeweiligen mechanischen Zieleigenschaften über eine Vergütung wärmebehandelt. Dabei wird der erste Wellenabschnitt 30 auf eine Anlasstemperatur T_A zur Einstellung der für den Mitteldruckturbinenbereich benötigten warmfesten Eigenschaften erwärmt. Der zweite Wellenabschnitt 32 wird zur Einstellung der für den Niederdruckturbinenbereich 18 benötigten kaltzähnen Eigenschaften entsprechend auf eine Anlasstemperatur T_B erwärmt. Der erste Wellenabschnitt 30 und der zweite Wellenabschnitt wird daraufhin mittels einer WIG-Engspaltschweißung oder einer UP-Schweißung unter Zusatz von Schweißzusatzwerkstoffen, wie z.B. 2%Ni-Charge mit spezieller Chemie, 2,25CrMoV-Charge mit spezieller Chemie oder anderen Zusätzen verschweißt.

[0027] Daraufhin wird ein sich lokal im Bereich der Engspaltschweißung ohne Einbeziehung der Turbinenstufenregionen des Mitteldruckturbinenbereichs 16 und des Niederdruckturbinenbereichs 18 erstreckender Wärmenachbehandlungsbereich 26a der Turbinenwelle 10 gemäß Fig. 1a mit einer Temperatur T_{WB} wärmenachbehandelt. Dabei werden gezielt Gradienten beim Aufheizen und Abkühlen zur Vermeidung unzulässigen Wärmeeintrags in die Turbinenstufenregion der angrenzenden Wellenbereiche eingestellt. Zur Erwärmung des Wärmenachbehandlungsbereichs 26a werden z.B. Heizmatten oder um den zu erwärmenden Bereich gebaute Öfen verwendet. Die Wärmenachbehandlungstemperatur T_{WB} wird dabei auf einen Wert eingestellt, der kleiner ist als die erste Anlasstemperatur T_A und den Wert der zweiten Anlasstemperatur T_B erreichen kann. Weiterhin wird sichergestellt, dass die Wärmenachbehandlungstemperatur T_{WB} kleiner ist als eine Umwandlungstemperatur $A_{C1,B}$, oberhalb der im Material des Niederdruckturbinenbereichs 18 eine Umwandlung von einer kubisch-raumzentrierten Kristallstruktur in eine kubisch-flächenzentrierte Kristallstruktur stattfindet.

[0028] Bei der in Fig. 2a dargestellten Turbinenwelle 10 wird im Gegensatz zur in Fig. 1a dargestellten Turbinenwelle 10 der erste Wellenabschnitt 30 mit einer reduzierten Anlasstemperatur T_A^* wärmevorbehandelt. Die reduzierte Anlasstemperatur T_A^* liegt unterhalb der zur Einstellung der für den Mitteldruckturbinenbereich 16 angestrebten mechanischen Eigenschaften vorgesehenen Anlasstemperatur T_A . Der zweite Wellenabschnitt 32 wird wie in der Ausführungsform gemäß Fig. 1a mit der Anlasstemperatur T_B wärmevorbehandelt. Die Verschweißung der beiden Wellenabschnitte 30 und 32 erfolgt wie vorstehend bezüglich der Turbinenwelle 10

nach Fig. 1a ausgeführt. In einem darauf folgenden Schritt wird ebenfalls eine Wärmenachbehandlung durchgeführt, wobei sich der Bereich der Wärmenachbehandlung sowohl über den ersten Wellenabschnitt 30, die Schweißnaht 24 und einen sich daran anschließenden Teil des zweiten Wellenabschnitts 32 erstreckt. Der Wärmebehandlungsbereich 26c erstreckt sich dabei über einen vorderen Abschnitt 18a des Niederdruckturbinenbereichs 18. Der sich daran anschließende Endabschnitt 18b weist die letzten beiden Turbinenstufen des Niederdruckturbinenbereichs auf.

[0029] Die in den Fig. 1b und 2b gezeigten Turbinenwellen 12 sind von der "Reverse Flow"-Bauart. Bei dieser Bauart befindet sich die Frischdampfeinströmung in einem Übergangsbereich zwischen dem Mitteldruckturbinenbereich 16 und dem Niederdruckturbinenbereich 18. Der Dampf strömt nach Einströmung zunächst nach links gemäß den Figuren. Daraufhin wird der Dampf wieder nach rechts in den Übergangsbereich zwischen dem Mitteldruckturbinenbereich 16 und dem Niederdruckturbinenbereich 18 zurückgeführt und in die Turbine eingeführt. Daraufhin strömt der Dampf nach rechts im Niederdruckturbinenbereich 18 entlang. Aufgrund der bei dieser Turbinenbauart erfolgenden zentralen Frischdampfeinströmung 28b und der damit verbundenen Wärmeeinbringung in diesem Bereich ist es notwendig, die Schweißnaht 24 weiter nach rechts zu versetzen. Der erste Wellenabschnitt 30 umfasst damit neben dem Mitteldruckturbinenbereich 18 auch den vorderen Abschnitt 18a des Niederdruckturbinenbereichs 18 mit den vorderen Turbinenstufen. Der zweite Wellenabschnitt 32 umfasst entsprechend den verbleibenden Endabschnitt 18b des Niederdruckturbinenbereichs 18 einschließlich der letzten beiden Turbinenstufen. Bei den in den Fig. 1b und 2b dargestellten Turbinenwellen 12 der "Reverse Flow-Bauart" sind Elemente, die Elementen entsprechen, welche bereits in den Ausführungsformen gemäß den Fig. 1A und 2A enthalten sind, zur Vereinfachung mit den gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet.

[0030] Die Turbinenwelle 12 gemäß der Fig. 1b wird analog zur Turbinenwelle 10 gemäß der Fig. 1a gefertigt. Das heißt, der erste sowie der zweite Wellenabschnitt 30 bzw. 32 werden analog mit den Temperaturen T_A sowie T_B wärmevorbehandelt. Bei der Ausführungsform gemäß der Fig. 2b wird der erste Wellenabschnitt 30 mit der reduzierten Anlasstemperatur T_A^* vorbehandelt. Die Verschweißung erfolgt in beiden Fällen wie vorstehend erläutert an der gegenüber den Ausführungsformen der Fig. 1a und 2a nach rechts verschobenen Schweißnaht 24. Die Wärmenachbehandlung wiederum erfolgt bei der Ausführungsform gemäß der Fig. 1b in einem lokal eng begrenzten Wärmenachbehandlungsbereich 26b, in der Ausführungsform gemäß der Fig. 2b in einem erweiterten Wärmenachbehandlungsbereich 26c.

[0031] Durch die lokale Wärmenachbehandlung in dem engen Wärmenachbehandlungsbereich 26a und 26b gemäß den Ausführungsformen nach den Fig. 1a und 1b wird eine gezielte Beeinflussung von lediglich der

Wärmeeinflusszone der Schweißnaht 24 erzielt. Dadurch wird eine Absenkung der Härte­werte in der Schweißnaht zur Verringerung der metallurgischen Kerbwirkung und zur Verbesserung der Bruch­zähigkeit, der Schwingfestigkeit und der Verformungseigenschaften ohne Beeinflussung der Warmfestigkeitseigenschaften der ND- sowie MD-Wellenabschnitte erreicht. Weiterhin wird eine Reduzierung der Restspannungen in der Schweißnaht auf Werte von kleiner 150 MPa Zug erreicht. Bei der Wärmenachbehandlung über den ausge­dehnten Bereich 26c gemäß den Ausführungsformen nach den Fig. 2a und 2b hingegen wird einerseits eine optimale Absenkung der Härte­werte in der jeweiligen Wärmeeinflusszone der Schweißnaht 24 sowie der Restspannungen auf Werte von kleiner 100 MPa und eine Einstellung der Warmfestigkeitseigenschaften des MD-Wellenmoduls in einem Arbeitsschritt mit der Wärmenachbehandlung der Schweißnaht erzielt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen einer Dampfturbinenwelle (10, 12) mit mindestens zwei auf unterschiedliche Dampfzustände ausgelegten Wellenabschnitten (30, 32) mit den Schritten

- eines Bereitstellens eines ersten Wellenabschnitts (30) aus einem CrMo-Stahl mit einer in Bezug auf eine bestimmte Anlассdauer ersten Anlассtemperatur T_A zum Einstellen von an einen ersten Dampfzustand angepassten mechanischen Eigenschaften
- sowie eines zweiten Wellenabschnitts (32) aus einem NiCrMoV-Stahl mit einer in Bezug auf die bestimmte Anlассdauer zweiten Anlассtemperatur T_B zum Einstellen von an einen gegenüber dem ersten Dampfzustand niedrigeren Dampfzustand angepassten mechanischen Eigenschaften, sowie
- eines Verschweißens der beiden Wellenabschnitte (30, 32),

dadurch gekennzeichnet, dass

das Verschweißen lediglich einen Schweißvorgang umfasst sowie das Verfahren weiterhin ein gezieltes Wärmenachbehandeln in zumindest dem Verbindungsbereich (24) der beiden Wellenabschnitte (30, 32) umfasst, welches zumindest zum zweiten Wellenabschnitt (32) hin gezielt auf die Wärmeeinflusszone (26a, 26b) des Schweißvorgangs beschränkt ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wärmenachbehandlung auch zum ersten Wellenabschnitt (30) hin gezielt auf die Wärmeeinflusszone (26a, 26b) des Schweißvorgangs beschränkt

ist.

3. Verfahren nach einem der vorausgehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der erste Wellenabschnitt (30) mit durch Wärmevorbehandlung an den ersten Dampfzustand angepassten mechanischen Eigenschaften bereitgestellt wird.
4. Verfahren nach einem der vorausgehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wärmenachbehandlung mit einer Temperatur T_{WB} erfolgt, die kleiner als die erste Anlассtemperatur T_A ist und den Wert der zweiten Anlассtemperatur T_B erreicht oder übertrifft.
5. Verfahren zum Herstellen einer Dampfturbinenwelle mit mindestens zwei auf unterschiedliche Dampfzustände ausgelegten Wellenabschnitten, insbesondere nach einem der vorausgehenden Ansprüche mit den Schritten

- eines Bereitstellens eines ersten Wellenabschnitts aus einem CrMo-Stahl mit einer in Bezug auf eine bestimmte Anlассdauer ersten Anlассtemperatur T_A zum Einstellen von an einen ersten Dampfzustand angepassten mechanischen Eigenschaften
- sowie eines zweiten Wellenabschnitts aus einem NiCrMoV-Stahl mit einer in Bezug auf die bestimmte Anlассdauer zweiten Anlассtemperatur T_B zum Einstellen von an einen gegenüber dem ersten Dampfzustand niedrigeren Dampfzustand angepassten mechanischen Eigenschaften, sowie
- eines Verschweißens der beiden Wellenabschnitte (30, 32),

dadurch gekennzeichnet, dass

der erste Wellenabschnitt (30) durch Wärmevorbehandlung mit einer unterhalb der ersten Anlассtemperatur T_A liegenden reduzierten Anlассtemperatur T_A^* bereitgestellt wird, sowie ein Wärmenachbehandeln in zumindest dem Verbindungsbereich (24) der beiden Wellenabschnitte (30, 32) sowie dem ersten Wellenabschnitt (30) mit einer Temperatur T_{WB} erfolgt, die größer als die reduzierte Anlассtemperatur T_A^* ist und höchstens den Wert der ersten Anlассtemperatur T_A aufweist.

6. Verfahren nach einem der vorausgehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die mechanischen Eigenschaften des zweiten Wellenabschnitts (32) bereits vor dem Verschweißen der beiden Wellenabschnitte (30, 32) an den zweiten

Dampfzustand durch Wärmeverbehandlung angepasst sind.

Schweißzusatzwerkstoffe verwendet werden.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1, 3, 4, 5 und 6,
dadurch gekennzeichnet, dass 5
die Wärmenachbehandlung auch den zweiten Wellenabschnitt (32) umfasst.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7,
dadurch gekennzeichnet, dass 10
die Wärmenachbehandlung auch einen Teil des zweiten Wellenabschnitts,
der sich insbesondere über einen vorderen Abschnitt (18a) eines Niederdruckturbinenbereichs (18) der Turbinenwelle (10) erstreckt, 15
umfasst.

9. Verfahren nach einem der vorausgehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass 20
die Temperatur T_{WB} der Wärmenachbehandlung kleiner ist als eine Umwandlungstemperatur $A_{C1,B}$, oberhalb der im Material des zweiten Wellenabschnitts (32) eine Umwandlung von einer kubisch-raumzentrierten Kristallstruktur in eine kubisch-flächenzentrierte Kristallstruktur stattfindet. 25

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 9,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Verschweißen lediglich einen Schweißvorgang umfasst. 30

11. Verfahren nach einem der vorausgehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass 35
der erste Wellenabschnitt (30) einen Hochdruck-, einen Mitteldruck- (16) und/oder einen vorderen Abschnitt (18a) eines Niederdruckturbinenbereichs (18) umfasst und
der zweite Wellenabschnitt (32) einen Niederdruckturbinenbereich (18), insbesondere einen Endabschnitt (18b) des Niederdruckturbinenbereichs (18) umfasst. 40

12. Verfahren nach einem der vorausgehenden Ansprüche, 45
dadurch gekennzeichnet, dass
der erste Wellenabschnitt (30) 1CrMoNiV-, 2CrMoNiWV-, 10-12%CrMoV- und/oder 8-11%CrMoCoB-Stahl aufweist und 50
der zweite Wellenabschnitt (32) 2-3,5NiCr-Stahl, insbesondere 2-3,5NiCrMoV-Stahl aufweist.

13. Verfahren nach einem der vorausgehenden Ansprüche, 55
dadurch gekennzeichnet, dass
beim Verschweißen der beiden Wellenabschnitte (30, 32) 2% Ni-Charge und/oder 2,25CrMoV als

FIG 1A

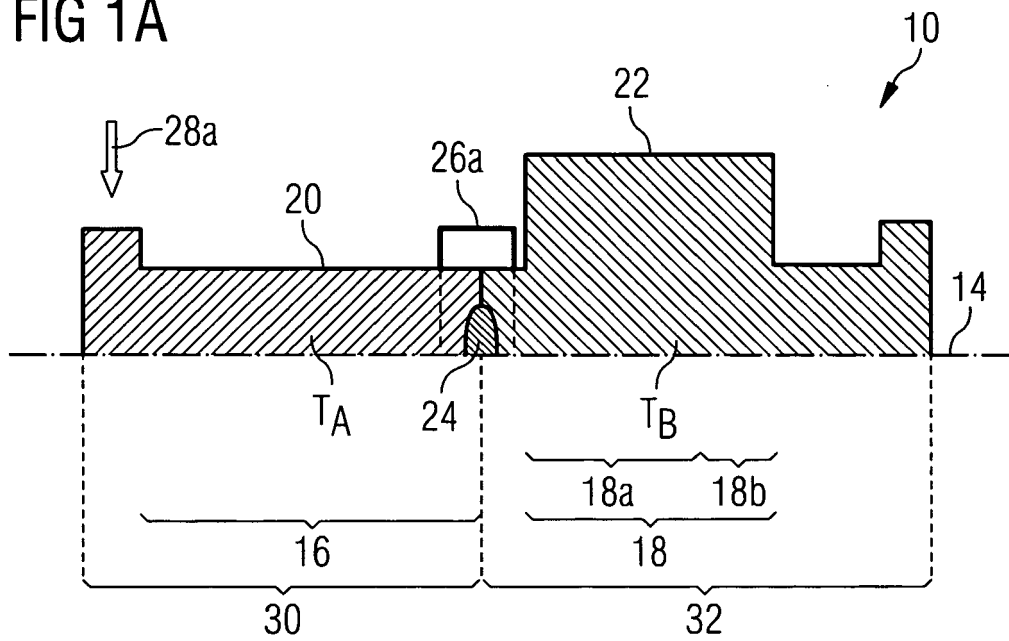


FIG 1B

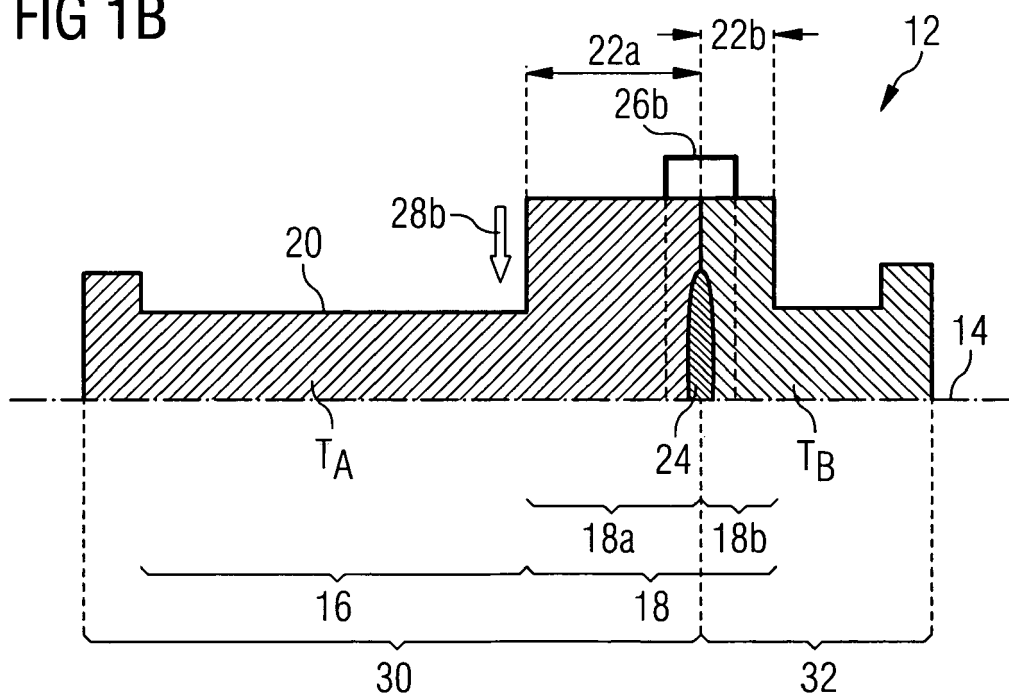


FIG 2A

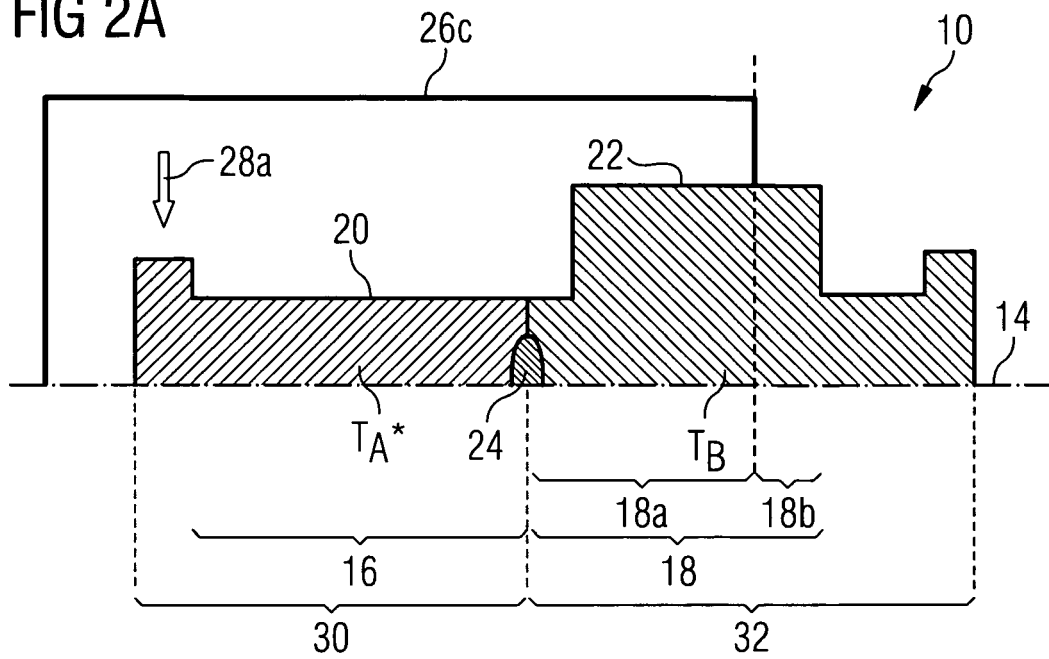
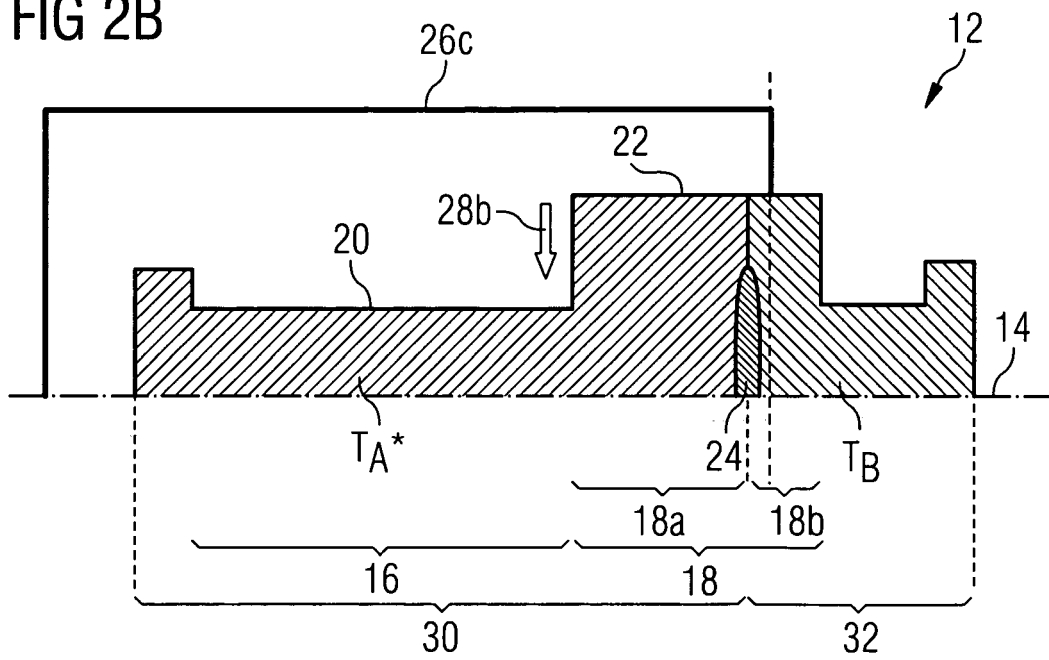


FIG 2B





Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 05 02 4432

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 5 407 497 A (HASSAN ET AL) 18. April 1995 (1995-04-18) * Spalte 3, Zeile 2 - Spalte 4, Zeile 23; Abbildungen 1-3 *	1,2,4, 7-13	F01D5/06
X	DE 100 52 176 A1 (KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA, KAWASAKI) 21. Juni 2001 (2001-06-21) * Seite 5, Zeilen 24-44 - Seite 6, Zeilen 35-56 *	1,3,4, 6-13	
A	WO 2004/051056 A (SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; JANSSEN, WOLFGANG; KERN, TORSTEN-ULF; KLOE) 17. Juni 2004 (2004-06-17) * Seite 5, Zeile 29 - Seite 7, Zeile 25; Abbildungen 3,4 *	1-13	
A	US 2002/081197 A1 (CRAWMER GERALD RICHARD) 27. Juni 2002 (2002-06-27) * Absätze [0006], [0007], [0009]; Abbildung 1 *	1-13	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F01D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 24. März 2006	Prüfer Teusch, R
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

2
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 05 02 4432

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am

Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

24-03-2006

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5407497 A	18-04-1995	DE 69421198 D1	25-11-1999
		DE 69421198 T2	25-05-2000
		EP 0610135 A1	10-08-1994
		FR 2701272 A1	12-08-1994

DE 10052176 A1	21-06-2001	FR 2800124 A1	27-04-2001
		US 6499946 B1	31-12-2002

WO 2004051056 A	17-06-2004	AU 2003292993 A1	23-06-2004
		CN 1720387 A	11-01-2006
		EP 1567749 A1	31-08-2005

US 2002081197 A1	27-06-2002	KEINE	

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82