

(19)



(11)

EP 1 801 243 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
27.06.2007 Patentblatt 2007/26

(51) Int Cl.:
C21D 9/00 (2006.01) **F01D 5/30** (2006.01)
C21D 1/667 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **05027975.1**

(22) Anmeldetag: **20.12.2005**

(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

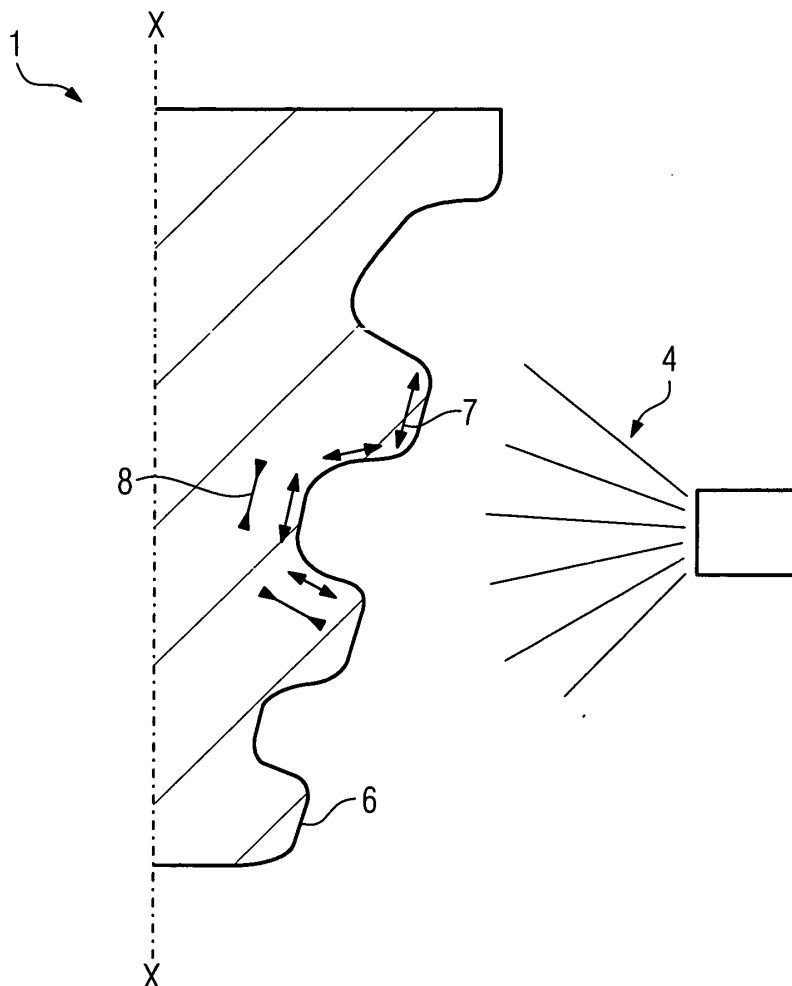
(71) Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
80333 München (DE)**

(72) Erfinder: **Richter, Christoph, Dr.
49477 Ibbenbüren (DE)**

(54) **Verfahren zur Erzeugung von tiefreichenden Druckeigenspannungen in Schaufelfüßen mittels kontrollierter Abkühlung**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Schaufelfußes (1) einer Strömungsmaschine. Der Schaufelfuß wird während einer Wärmebehandlung zur kontrollierten Abkühlung besprüht, so dass Außen-

fasern des Schaufelfußes (1) zu seiner Mittelachse (X) hin plastisch gedehnt werden und Druckeigenspannungen bei Raum- und bei Betriebstemperatur im Schaufelfuß entstehen.



EP 1 801 243 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Schaufelfußes einer Strömungsmaschine

[0002] Bekannt ist, Schaufelfüße, insbesondere tannenförmige Schaufelfüße, von Strömungsmaschinen im Rahmen des Schmiedeprozesses einer Wärmebehandlung zu unterziehen. Beispielsweise können die Tannenfüße, nachdem sie aus einem Schmiedegesenk entnommen werden, fast ihre endgültige Kontur aufweisen, wobei hier noch ein zusätzliches Aufmaß von 1 bis 2 mm vorhanden ist. Bekannt ist, beispielsweise die spanend bearbeiteten Schmiederohlinge z. B. mittels Kugeldruckstrahlen oder mittels Rollierens zu bearbeiten.

[0003] Als ein Hauptnachteil des bekannten Verfahrens zum Herstellen eines Schaufelfußes bzw. von Schaufelfüßen ist hierbei anzusehen, dass eine Eindringtiefe von Eigenspannungen in das Schaufelfußmaterial nachteiligerweise nur wenige Zehntel-Millimeter beträgt, womit lediglich eine Anrisslebensdauer zum Teil positiv beeinflusst werden kann.

[0004] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art mit einfachen Mitteln dahin gehend zu verbessern, dass die Lebensdauer von Schaufelfüßen und damit Inspektionsintervalle verlängert werden können.

[0005] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, dass der Schaufelfuß während einer Wärmebehandlung zur kontrollierten Abkühlung besprüht wird, so dass Außenfasern des Schaufelfußes zu seiner Mittelachse hin, also in einer Zone die sich von einer Oberfläche des Schaufelfußes zu seiner Mittelachse hin erstreckt, plastisch gedehnt werden. Die Außenfasern werden insbesondere oberflächenparallel plastisch gedehnt.

[0006] Günstiger Weise ist vorgesehen, dass der Schaufelfuß als Rohling mit seiner mit einem Aufmaß versehenen Kontur der Wärmebehandlung unterzogen wird, wobei der Schaufelfuß während der Wärmebehandlung zur kontrollierten Abkühlung besprüht wird, so dass Außenfasern des Schaufelfußes über das Aufmaß hinweg zu seiner Mittelachse hin plastisch gedehnt werden.

[0007] Günstig im Sinne der Erfindung ist, wenn die Außenfasern bei einem Aufmaß von 1 bis 2 mm bis zu einer Tiefe von mehr als 1 bis 2 mm, also über das Aufmaß hinweg, plastisch gedehnt werden.

[0008] Zweckmäßigerweise bewirkt das erfindungsgemäße Verfahren hierbei, dass die plastisch gedehnten Außenfasern der Kontur des Rohlings bzw. des Schaufelfußes folgen, also oberflächenparallel gedehnt sind.

[0009] Vorteilhafterweise entstehen durch die kontrollierte Abkühlung Druckeigenspannungen im Außenbereich des Rohlings bei Raum- und Betriebstemperatur bzw. des Schaufelfußes über das Aufmaß hinweg, wobei die Druckeigenspannungen mehrere Millimeter in den Schaufelfuß hinreichen, so dass eine Druckeigenspannungszone mit tiefreichenden Druckeigenspannungen

gebildet ist, die auf jeden Fall über das Aufmaß hinweg einen Betrag von 3 bis 10 mm bezogen auf die Oberfläche des Rohlings zur Mittelachse hin aufweist.

[0010] Weist der Schaufelfuß als Rohling das Aufmaß auf, bezieht sich der Betrag der Dicke der Druckeigenspannungszone auf die Oberfläche des Aufmaßes in Richtung zur Mittelachse.

[0011] Die Druckeigenspannungszone ist nach der beispielsweise spanenden Bearbeitung um das entfernte Aufmaß verringert.

[0012] Wird der Schaufelfuß nach der spanenden Bearbeitung mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt, also der Wärmebehandlung unterzogen, bezieht sich der Betrag der Dicke der Druckeigenspannungszone auf die Oberfläche der endgültigen Kontur des Schaufelfußes zu seiner Mittelachse hin.

[0013] Günstig im Sinne der Erfindung ist, wenn der Rohling bzw. der Schaufelfuß zum kontrollierten Abkühlen mit einem Fluid, beispielsweise Wasser besprüht wird, wobei aber auch vorgesehen werden kann, dass der Rohling bzw. Schaufelfuß mit Öl besprüht wird. Selbstverständlich kann jede geeignete Flüssigkeit z.B. eine Wasser-Öl-Emulsion zum Besprühen verwendet werden, so dass eine kontrollierte Abkühlung erreichbar ist.

[0014] Mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens wird vorteilhaft erreicht, dass die Außenfasern bis zu einer Tiefe von mehreren Millimetern plastisch gedehnt werden. Beträgt das Aufmaß beispielsweise 2 mm, werden die Außenfasern bis zu einer über die Tiefe von 2 mm hinaus gehenden Tiefe zur Mittelachse hin plastisch gedehnt.

[0015] Die Außenfasern werden mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens abhängig von der Schaufelfußgröße bis zu einer Tiefe von 3 bis 10 mm plastisch gedehnt. Bei kleinen Schaufelfüßen, die beispielsweise eine Masse von 10kg haben, kann eine plastische Dehnung bis zu einer Tiefe von 2 bis 5 mm erreicht werden, wobei bei großen Schaufelfüßen mit einer beispielhaften Masse von 150kg eine plastische Dehnung bis zu einer Tiefe von bis zu 10 mm über das Aufmaß hinweg erreichbar ist. Selbstverständlich sind die genannten Maße lediglich beispielhaft, so dass sich bei anderen Schaufelfußgrößen und -formen auch andere Werte bzw. Beträge für die tiefreichenden Druckeigenspannungen ergeben können.

[0016] Wird der Rohling bzw. der Schaufelfuß mit seiner fast endgültigen Kontur und seinem zusätzlichen Aufmaß von 1 bis 2 mm nunmehr nach der kontrollierten Abkühlung beispielsweise spanend bearbeitet, ist es leicht vorstellbar, dass die plastisch gedehnten Außenfasern aufgrund ihrer tiefen Eindringtiefe über das Aufmaß hinweg nicht einfach weg geschnitten werden, sondern erhalten bleiben.

[0017] Bei dem kontrollierten Abkühlprozess entstehen günstigerweise Druckeigenspannungen, die in Überlagerung mit einer Betriebsbeanspruchung eine erhöhte Gesamtlebensdauer ermöglichen. Hierbei sei ins-

besondere darauf hingewiesen, dass eine Anriss- und Rissfortschrittslebensdauer positiv beeinflusst werden. Als Anrisslebensdauer wird im Sinne der Erfindung die Lebensdauer des Schaufelfußes verstanden, die ohne Anriss durchlaufen wird. Als Rissfortschrittslebensdauer wird im Sinne der Erfindung die Lebensdauer des Schaufelfußes verstanden, die unter Vorhandensein eines Risses durchlaufen wird, wobei der Riss größer werden oder gleich bleiben kann. Wird der Riss größer, wurde ein Rissfortschrittsschwellenwert (Threshold) überschritten. Der Rissfortschrittsschwellenwert (Threshold) ist im Sinne der Erfindung die Beanspruchungsgröße, ab der ein Wachsen des Risses stattfindet. Mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens wird nun vorteilhaft erreicht, dass der Rissfortschrittsschwellenwert (Threshold) in einer größeren Tiefe größer ist, als bei herkömmlichen Herstellungsverfahren (Kugeldruckstrahlen, Rollieren), womit der Rissfortschrittsschwellenwert (Threshold) günstig beeinflusst wird. Damit wird aber selbstverständlich auch die Rissfortschrittslebensdauer günstig beeinflusst.

[0018] Mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens wird somit ein verbesserter Schaufelfuß zur Verfügung gestellt, der eine erhöhte Gesamtlebensdauer, insbesondere Anriss- und Rissfortschrittslebensdauer aufweist, wobei auch erforderliche Inspektionsintervalle verlängert werden können. Damit kann aber auch eine integrale Anstrengung bzw. eine mittlere Spannung des Werkstoffs im Vergleich zum herkömmlichen Kugeldruckstrahlen oder Rollieren relativ höher ausfallen.

[0019] Die integrale Anstrengung bzw. die mittlere Spannung aus der äußeren Last (Fliehkraft usw.) kann höher ausfallen, da ein Volumen der Zone mit Druckeigenspannungen größer ist als bei dem herkömmlichen Kugeldruckstrahlen bzw. Rollieren. Vorteilhafter Weise ergibt sich hierbei ein im Vergleich zum Kugeldruckstrahlen bzw. Rollieren günstigerer Wert der integralen Anstrengbarkeit bzw. mittleren Spannung um einen Betrag von 10 bis 15%.

[0020] Natürlich kann das erfindungsgemäße Verfahren auch mit dem eingangs genannten Kugeldruckstrahlen bzw. dem zuvor genannten Rollieren kombiniert werden. Insgesamt bewirken die entstandenen tiefreichenden plastisch gedehnten Außenfasern bzw. Druckeigenspannungen eine verbesserte Festigkeit des Schaufelfußes. Im Vergleich zu Schmiederohlingen mit grob umhüllendem, großem Aufmaß wird weniger Rohmaterial verbraucht und gleichzeitig ein kostengünstiges Zerspangsvolumen zur Verfügung gestellt.

[0021] Die Strömungsmaschine kann als Verdichter, Dampfturbine oder Gasturbine ausgeführt sein. Vorzugsweise ist das Verfahren an geschmiedeten Rohlingen bzw. Schaufelfüßen anwendbar, wobei auch eine Anwendung an ungeschmiedeten, also z.B. aus Stabmaterial gefertigten Schaufelfüßen denkbar ist. Natürlich kann das erfindungsgemäße Verfahren auch an Aufmaß-Schmiedungen angewendet werden, bei denen die Schmiedekontur den Fuß nur grob umhüllt. Aufgrund der relativ tiefreichenden Druckeigenspannungen bzw. des

tiefreichenden Druckeigenspannungsfeldes bleibt aber ein positiver Effekt erhalten.

[0022] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen und der folgenden Figurenbeschreibung offenbart. Es zeigt die einzige

Fig. 1 eine Teilansicht eines Schaufelfußes im Querschnitt.

[0023] Figur 1 zeigt einen Schaufelfuß 1. Der Schaufelfuß 1 weist im Querschnitt gesehen eine tannenförmige Ausgestaltung auf, so dass der Schaufelfuß 1 auch als Tannenschaufelfuß bezeichnet werden kann. Der Schaufelfuß gemäß Figur 1 ist lediglich in einem Halbquerschnitt dargestellt, wobei der Schaufelfuß 1 spiegelbildlich zu einer Mittelachse X ausgeführt ist. Natürlich kann der Schaufelfuß 1 auch in anderen Querschnittsformen ausgestaltet sein, wie z.B. als Schwalbenschwanzfuß oder als T-Fuß.

[0024] Der in Figur 1 dargestellte Schaufelfuß 1 ist aus einem Schmiedegesenk als Schmiederohling mit einem Aufmaß von ca. 1 mm herausgenommen und wird einer Wärmebehandlung unterzogen. Während der Wärmebehandlung wird der dargestellte Schaufelfuß 1 zur kontrollierten Abkühlung besprüht, was in Figur 1 mit Sprühstrahlen 4 angedeutet ist. Die dargestellte Sprühbehandlung bewirkt während der Wärmebehandlung ein rasches, kontrolliertes Abkühlen der Oberfläche 6 des Schaufelfußes 1, wodurch Oberflächenfasern des Schaufelfußes 1 oberflächenparallel plastisch gedehnt werden.

[0025] Die plastische Dehnung ist in Figur 1 mittels der Doppelpfeile 7 dargestellt. Beispielhaft ist in Figur 1 dargestellt, dass die Außenfasern des Schaufelfußes 1 zu seiner Mittelachse X hin über das von dem in dem Ausführungsbeispiel genannten Aufmaß von 1 mm hinweg plastisch gedehnt werden.

[0026] Weiter ist der Figur 1 zu entnehmen, dass die plastisch gedehnten Außenfasern (Doppelpfeil 7) der Kontur des Schaufelfußes 1 folgen. Bei der kontrollierten Abkühlung mittels der Sprühbehandlung entstehen im Schaufelfuß 1 weiter vorteilhaft Druckeigenspannungen, die bei Raum- und Betriebstemperatur vorhanden sind (in Figur 1 mittels der Pfeile 8 dargestellt).

[0027] Sowohl die plastisch gedehnten Außenfasern (Doppelpfeil 7) als auch die Druckeigenspannungen bzw. die Druckeigenspannungszone (Doppelpfeil 8) in der Oberfläche ist in vergleichsweise großer Tiefe von mehreren Millimetern bevorzugt 3 bis 10 mm zur Mittelachse X hin, also tiefreichender als das Aufmaß, entstanden.

[0028] Wird der Schaufelfuß 1 nun einer endgültigen Bearbeitung, beispielsweise einer spanenden Bearbeitung unterzogen, um die endgültige Kontur herzustellen, so ist es leicht vorstellbar, dass bei einem Wegschneiden des Aufmaßes von ca. 1 mm gleichwohl die plastische Dehnung der Außenfasern als auch die Druckeigenspannungen aufgrund ihrer, bezogen auf die Mittelachse X

von der Oberfläche gesehen, tiefen Eindringtiefe in das Material des Schaufelfußes 1 zur Mittelachse X hin noch vorhanden sind.

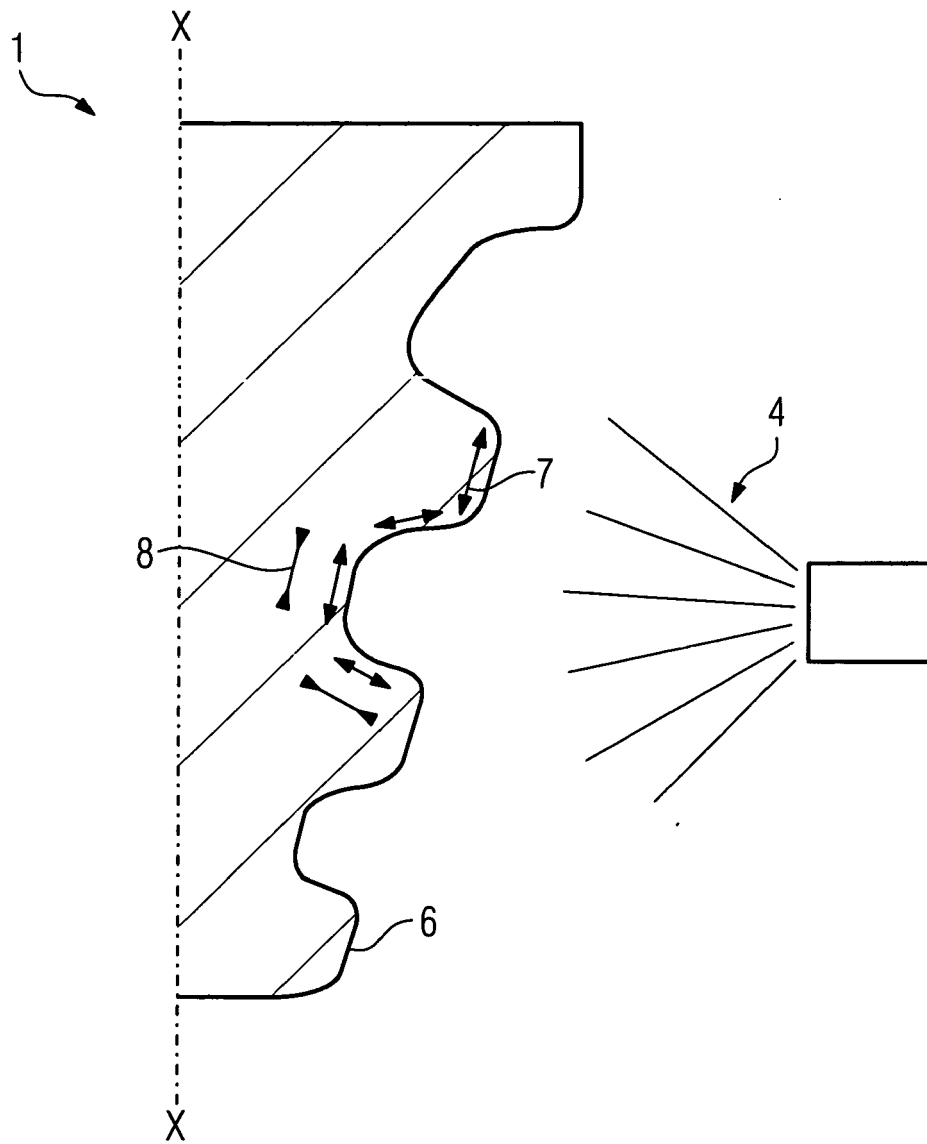
[0029] Somit wird ein einfaches und effizientes Verfahren zur Verfügung gestellt, bei dem der Schaufelfuß 1 im Vergleich zu lediglich einem Kugeldruckstrahlen bzw. Rollieren eine erhöhte Gesamtlebensdauer aufweist, da die aufgrund des erfindungsgemäßen Verfahrens vorhandenen Druckeigenspannungen nach dem Entfernen des Aufmaßes immer noch vorhanden sind.

der Schaufelfuß (1) zur kontrollierten Abkühlung mit einem Fluid besprüht wird.

7. Schaufelfuß, der insbesondere mit einem Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche hergestellt ist, wobei der Schaufelfuß (1) während einer Wärmebehandlung zur kontrollierten Abkühlung besprüht wird, so dass Außenfasern des Schaufelfusses (1) zu seiner Mittelachse (X) hin plastisch gedehnt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Schaufelfußes (1) einer Strömungsmaschine,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Schaufelfuß (1) während einer Wärmebehandlung zur kontrollierten Abkühlung besprüht wird, so dass Außenfasern des Schaufelfußes (1) zu seiner Mittelachse (X) hin plastisch gedehnt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Außenfasern des Schaufelfußes zu seiner Mittelachse (X) hin oberflächenparallel plastisch gedehnt werden, also der Kontur des Schaufelfußes (1) folgen.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Schaufelfuß (1) als Rohling mit seiner mit einem Aufmaß versehenen Kontur der Wärmebehandlung unterzogen wird, wobei der Schaufelfuß (1) während der Wärmebehandlung zur kontrollierten Abkühlung besprüht wird, so dass Außenfasern des Schaufelfußes (1) über das Aufmaß hinweg zu seiner Mittelachse (X) hin plastisch gedehnt werden.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Außenfasern bei einem Aufmaß von 1 bis 2 mm bezogen auf die Mittelachse (X) bis zu einer Tiefe von mehr als 1 bis 2 mm plastisch gedehnt werden.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
bei der kontrollierten Abkühlung Druckeigenspannungen bei Raum- und Betriebstemperatur im Schaufelfuß (1) entstehen.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass





Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 05 02 7975

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	DE 31 37 815 A1 (DAIMLER BENZ AG) 2. September 1982 (1982-09-02) * Seite 4, Zeile 20 - Seite 5, Zeile 37 *	1,2,5	INV. C21D9/00 F01D5/30
X	US 4 769 092 A (PEICHL ET AL) 6. September 1988 (1988-09-06) * Anspruch 1 *	1	ADD. C21D1/667
X	GB 2 406 532 A (* ROLLS-ROYCE PLC) 6. April 2005 (2005-04-06) * Seite 3, Zeilen 5-8; Abbildung 1 *	7	
A	LAMPMAN S.R. & ZORC T.B.: "ASM HANDBOOK HEAT TREATING, VOL.4" 1991, ASM INTERNATIONAL, US, XP002381033 * Seiten 603-607 *	1-7	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			C21D F01D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 16. Mai 2006	Prüfer Rischar, M
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	

1
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 05 02 7975

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.

16-05-2006

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 3137815	A1	02-09-1982	KEINE
US 4769092	A	06-09-1988	DE 3605153 A1 20-08-1987 FR 2594445 A1 21-08-1987 GB 2188945 A 14-10-1987
GB 2406532	A	06-04-2005	KEINE

EPO FORM P0461

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