



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
07.05.2003 Patentblatt 2003/19

(51) Int Cl.7: **C23C 4/00**

(21) Anmeldenummer: **02022736.9**

(22) Anmeldetag: **11.10.2002**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
IE IT LI LU MC NL PT SE SK TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(71) Anmelder: **Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG
15827 Dahlewitz (DE)**

(72) Erfinder: **Ladentin, Klaus
61239 Ober-Mörlen (DE)**

(30) Priorität: **05.11.2001 DE 10154284**

(54) **Verfahren zum automatischen Auftragen einer Oberflächenschicht**

(57) Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum automatischen Auftragen einer Oberflächenschicht auf ein metallisches Bauelement, bei welchem Material der Oberflächenschicht im flüssigen, teigigen oder nur angeschmolzenen Zustand aufgesprüht wird, dadurch gekennzeichnet, dass nach zumindest einem Zyklus zum Auftrag der Oberflächenschicht automa-

tisch die erhaltene Schichtdicke gemessen, mit einem Sollwert verglichen und die noch benötigte Restschichtdicke errechnet wird und dass nachfolgend, soweit erforderlich, ein weiterer Zyklus zum Auftrag der Oberflächenschicht erfolgt und dass diese Schritte bis zum Erhalt der benötigten Dicke der Oberflächenschicht wiederholt werden.

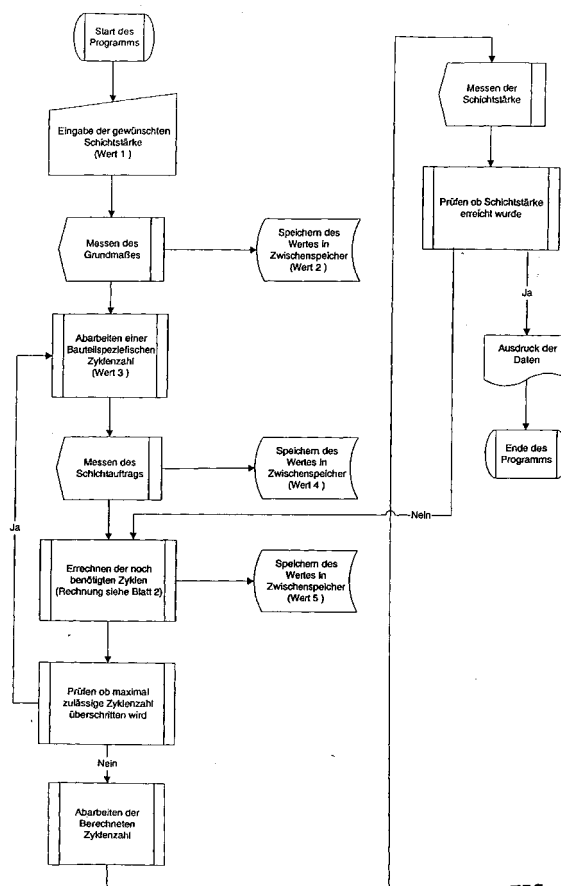


FIG. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum automatischen Auftragen einer Oberflächenschicht gemäß dem Oberbegriff des Hauptanspruchs.

[0002] Im Einzelnen bezieht sich die Erfindung auf ein Verfahren zum automatischen Auftragen einer Oberflächenschicht mittels eines Plasma-Spritzverfahrens oder eines Flamm-Spritzverfahrens. Diese Verfahren können allgemein als Beschichtungsverfahren bezeichnet werden.

[0003] Aus dem Stand der Technik ist es bekannt, mittels derartiger Beschichtungsverfahren einen Pulverwerkstoff aufzuschmelzen, dessen Partikel dann mit hoher Geschwindigkeit auf das Bauelement aufgebracht werden und an diesem haften bleiben. Eine derartige Beschichtung wird Zyklusweise abgearbeitet. Dies bedeutet, dass nacheinander so viele einzelne Zyklen mit Auftrag von Material durchgeführt werden, bis die gewünschte Schichtstärke oder -dicke der Oberflächenschicht erreicht ist.

[0004] Als nachteilig bei der beschriebenen Vorgehensweise erweist es sich, dass die Dicke der bei einem Zyklus aufgetragenen Oberflächenschicht nicht exakt vorherbestimmbar ist. Es können eine Vielzahl von unterschiedlichsten Parametern die Schichtdicke beeinflussen, beispielsweise die Abnutzung des Brenners oder Verwirbelungen an der Oberfläche des Bauelements.

[0005] Es ist aus dem Stand der Technik somit bekannt, dass entweder nach jedem Zyklus oder nach einer vorgegebenen Serie von Zyklen die Schichtstärke überprüft werden muss. Als besonders nachteilig erweist es sich dabei, dass die gesamte Anlage heruntergefahren werden muss, um dem Bedienungspersonal den Zugang zu dem Bauelement zu ermöglichen.

[0006] Der Stand der Technik hat diese Nachteile bereits erkannt, es wurden auch bereits Maßnahmen vorgeschlagen. So beschreibt die DE 44 19 476 C2 ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung der Schichtdicke und der Substrattemperatur während der Beschichtung. Hierbei wird der Reflexionsgrad mittels eines Reflektormeters gemessen. Aus der Reflektormetermesskurve wird die theoretische Schichtdicke errechnet. Ein ähnliches Verfahren beschreibt die US 55 64 830.

[0007] Diese bekannten Verfahren sind nur bedingt einsetzbar, da sie sehr hohe apparative Anforderungen stellen und nur für bestimmte Bauelemente und bestimmte Anwendungen einsetzbar sind, beispielsweise in der Halbleiterindustrie.

[0008] Die Anwendung dieser Verfahren bei üblichen Bauelementen, wie sie beispielsweise im Maschinenbau oder im Flugtriebwerksbau vorkommen, scheidet somit aus.

[0009] Bei der üblichen Vorgehensweise, bei welchen die Anlage heruntergefahren wird, erweist es sich als nachteilig, dass der gesamte Prozess gestoppt und

nach der Messung neu gestartet werden muss. Abgesehen von der erforderlichen Prozessdauer und den damit verbundenen Kosten ergibt sich das Problem, dass eine Messung der Schichtdicke nicht immer an der gleichen Stelle stattfinden kann und somit Messfehler entstehen können.

[0010] Alternativ ist auch vorgeschlagen worden, zusätzlich zu dem Bauteil ein Mess-Element, beispielsweise ein Blech zu beschichten und dessen Schichtstärke zu ermitteln. Auch diese Vorgehensweise ist nicht sehr präzise, da Oberflächeneinflüsse, Strömungsverhältnisse und Ähnliches, bei dem Mess-Element nicht exakt mit den Verhältnissen bei dem Bauelement übereinstimmen.

[0011] Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren der Eingangs genannten Art zu schaffen, welches bei einfachem Aufbau und einfacher, betriebssicherer Anwendbarkeit eine automatische Messung der Oberflächenschichtdicke und eine entsprechende Steuerung bzw. Regelung des Verfahrens ermöglicht.

[0012] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Hauptanspruchs gelöst, die Unteransprüche zeigen weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung.

[0013] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren ist es somit vorgesehen, dass nach zumindest einem Zyklus zum Auftrag der Oberflächenschicht automatisch die erhaltene Schichtdicke gemessen, mit einem Sollwert verglichen und die noch benötigte Restschichtdicke errechnet wird und dass nachfolgend, soweit erforderlich, ein weiterer Zyklus zum Auftrag der Oberflächenschicht erfolgt. Erfindungsgemäß werden diese Schritte bis zum Erhalt der benötigten Dicke der Oberflächenschicht wiederholt.

[0014] Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich durch eine Reihe erheblicher Vorteile aus.

[0015] Bei dem Verfahren ist es nicht erforderlich, die gesamte Anlage abzuschalten und herunterzufahren, um eine manuelle Messung der Oberflächenschichtdicke des Bauelementes durchzuführen. Vielmehr erfolgt die Messung automatisch zwischen den einzelnen Beschichtungsvorgängen.

[0016] Erfindungsgemäß kann die Beschichtung mittels eines Roboters erfolgen, sodass eine exakte Anpassung an die Geometrie des zu beschichtenden Bauteils möglich ist. Der Roboter befindet sich, wie aus dem Stand der Technik bekannt, innerhalb einer gekapselten Anlage. Erfindungsgemäß ist somit vorgesehen, dass zusätzlich innerhalb der gekapselten Anlage Mittel zum Messen der Schichtdicke vorhanden sind.

[0017] Als vorteilhaft erweist es sich, dass der gesamte Beschichtungsvorgang automatisch ablaufen kann. Durch den Abgleich der einzelnen Schichtdicken der Zyklen und der automatisch zwischen einzelnen Zyklen erfolgenden Messung der Schichtdicke ist es möglich, direkt die gewünschte Schichtdicke der Oberflächenschicht dem automatischen Ablauf zu Grunde zu legen. Ein Mitbeschichten von Referenz-Bauelementen oder

ähnlichem ist nicht erforderlich.

[0018] Ein weiterer, wesentlicher Vorteil der Erfindung liegt darin, dass die Schichtdicke in präziser Weise automatisch erfolgen kann, ohne dass die Anlage heruntergefahren werden muss. Somit ergibt sich ein minimaler zeitlicher Anlagenstillstand, welcher lediglich darin besteht, dass der Plasma- oder Flamm-Spritzroboter kurzzeitig abgeschaltet wird. Die Anlage muss somit nicht komplett heruntergefahren werden, insbesondere wird der Roboter nicht ausgeschaltet. Das Roboterprogramm läuft während der Messung der Schichtdicke weiter, im Rahmen dieses Programms wird die Schichtdicke oder Schichtstärke ermittelt. Es versteht sich, dass die Flamme während der Schichtdickenmessung ausgeschaltet sein muss. Demgegenüber bleiben weitere Aggregate angeschaltet, beispielsweise die Absaugung, der Verschluss der Tür etc.

[0019] Weiterhin ist es besonders vorteilhaft, dass ein manuelles Messen entfallen kann, sodass hierdurch auch Ablesefehler oder Ähnliches ausgeschlossen werden können.

[0020] Ein weiterer, wesentlicher Vorteil der automatisierten Vorgehensweise besteht darin, dass auch schwierigste geometrische Konturen mit gleich bleibender Messgenauigkeit abgetastet werden können.

[0021] Die gesamte Bedienung der Anlage wird wesentlich vereinfacht, da es im Wesentlichen nur erforderlich ist, den automatischen Ablauf entsprechend zu programmieren.

[0022] Besonders günstig ist es, wenn erfindungsgemäß ein automatischer Ausgleich von Verschleiß, beispielsweise der Brennteile oder ähnlichem, erfolgt.

[0023] Zusätzlich ist es erfindungsgemäß möglich, die gewonnenen Daten zu speichern und zu protokollieren. Hierdurch kann der gesamte Verfahrensablauf präzise nachvollzogen und überprüft werden.

[0024] Ein zusätzlicher Vorteil der Erfindung ist dadurch gegeben, dass bekannte Anlagen entsprechend nachgerüstet werden können, sodass sich insgesamt geringe Investitionskosten ergeben.

[0025] Besonders vorteilhaft ist es, wenn die aufzubringende Schichtdicke errechnet und der Zyklus entsprechend geregelt bzw. gesteuert wird. Dies kann durch Beeinflussung der Prozessparameter in einfacher Weise erfolgen.

[0026] Weiterhin kann es vorteilhaft sein, wenn bei der automatischen Berechnung der Zykluszahl die max. mögliche Zykluszahl überprüft wird, um Überlastungen des Bauelements oder der Anlage zu vermeiden und um einen metallurgisch einwandfreien Schichtaufbau zu erhalten.

[0027] Um Messfehler auszuschließen, kann es vorteilhaft sein, vor Beginn des Verfahrens einen Abgleich mit dem Grundmaß des unbeschichteten Bauelements durchzuführen. In Abhängigkeit von der Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens kann es auch in jedem Falle erforderlich sein, vor Beginn des Verfahrens den beschriebenen Abgleich durchzuführen, da ledig-

lich ein Aufmaß gemessen wird.

[0028] Die automatische Messung der Schichtdicke erfolgt bevorzugter Weise mittels eines mechanischen Messtasters. Derartige Messtaster sind preisgünstig und zuverlässig und weisen ein hohes Maß an Präzision auf.

[0029] Das erfindungsgemäße Verfahren kann beispielsweise wie folgt ablaufen:

- 5 - Anlage schließen,
- Programm starten,
- Eingabe der gewünschten Dicke der Oberflächenschicht sowie des Haftgrundes,
- automatische Ermittlung des Grundmaßes bzw. des Rohmaßes des Bauelements,
- 10 - Hochfahren der Flamme,
- automatisches Aufwärmen des Bauelements durch Erwärmung des Rotors mittels des Brenners durch den Roboter,
- 20 - Einfahren des Roboters in die Startstellung,
- Einschaltung der Pulverzufuhr,
- Beschichten des am Rotor befestigten Bauelements mittels des Roboters mittels einer vorgegebenen, bauteilbezogenen Anfangszykluszahl,
- 25 - Stoppen der Flamme,
- Zurückfahren des Roboters in Ausgangsstellung,
- Anfahren des Bauelements mittels eines Roboters mit dem Messtaster,
- Ermitteln der Dicke der aufgetragenen Oberflächenschicht,
- 30 - automatische Berechnung der noch benötigten Zykluszahl,
- wieder Start des Vorganges mit Hochfahren der Flamme.

[0030] Der oben beschriebene Verfahrensablauf wird beispielsweise beim Haftgrund zweimal und bei der Deckschicht einer Oberflächenbeschichtung dreimal wiederholt.

40 **[0031]** Die Fig. 1 zeigt ein Flussdiagramm zum Ablauf der automatischen Beschichtung. Die Fig. 2 zeigt die Rechenschritte zur Errechnung der noch benötigten Zykluszahl, wie in Fig. 1 angegeben.

[0032] Wie bereits erwähnt, erfolgt erfindungsgemäß jeweils ein automatischer Messvorgang durch Kopplung eines Messtasters mit der Robotersteuerung, um die tatsächlich aufgetragene Dicke der Oberflächenschicht zu ermitteln. Aus dem Ergebnis errechnet die Steuerung die noch aufzutragende Dicke der Oberflächenschicht. Hieraus ergibt sich wiederum die noch benötigte Anzahl von Zyklen, die automatisch durch die Anlage durchfahren werden. Die Bedienungsperson muss beim Start des Verfahrens lediglich die gewünschte Dicke der Oberflächenschicht eingeben. Die Anlage regelt sich automatisch, bis das fertige Bauteil mit der gewünschten Dicke der Oberflächenschicht erzielt ist. Sämtliche Zwischenergebnisse können bei Bedarf geloggt oder ausgedruckt werden. Es ergibt sich somit ein

vollautomatischer Beschichtungsprozess, welcher sowohl eine erhebliche Zeitersparnis als auch eine erhebliche Qualitätssteigerung beinhaltet.

[0033] Die Erfindung ist sowohl für die Reparatur von Bauelementen, beispielsweise von Fluggasturbinen anwendbar, überwiegend wird das Verfahren jedoch bei Neuteilen eingesetzt. Die Anwendung ist nicht auf den Triebwerksbau (Fluggasturbinen oder stationäre Gasturbinen) beschränkt, sondern kann beispielsweise auch in der Automobilindustrie und im allgemeinen Maschinenbau Anwendung finden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum automatischen Auftragen einer Oberflächenschicht auf ein metallisches Bauelement, bei welchem Material der Oberflächenschicht im flüssigen, teigigen oder nur angeschmolzenen Zustand aufgesprüht wird,
dadurch gekennzeichnet, dass
nach zumindest einem Zyklus zum Auftrag der Oberflächenschicht automatisch die erhaltene Schichtdicke gemessen, mit einem Sollwert verglichen und die noch benötigte Restschichtdicke errechnet wird und dass nachfolgend, soweit erforderlich, ein weiterer Zyklus zum Auftrag der Oberflächenschicht erfolgt und dass diese Schritte zum Erhalt der benötigten Dicke der Oberflächenschicht wiederholt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
automatisch die in einem Zyklus aufzubringende Schichtdicke errechnet und der Zyklus entsprechend geregelt bzw. gesteuert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
beim automatischen Berechnen der Zykluszahl die maximal mögliche Zyklenzahl überprüft wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet, dass
vor Arbeitsbeginn automatisch ein Abgleich mit einem Grundmaß erfolgt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet, dass
die automatische Messung der Schichtdicke mittels eines mechanischen Messtasters erfolgt.

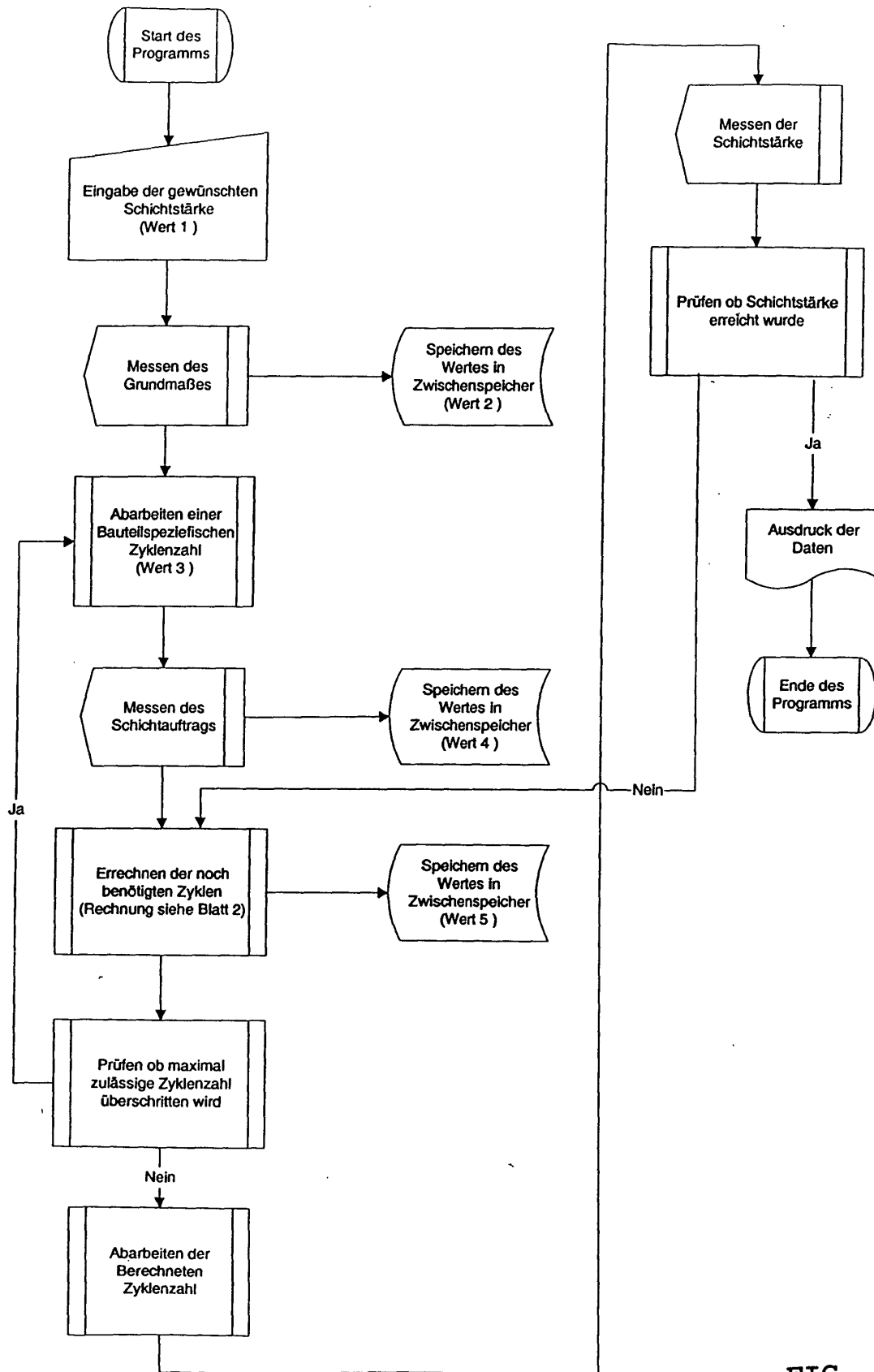


FIG. 1

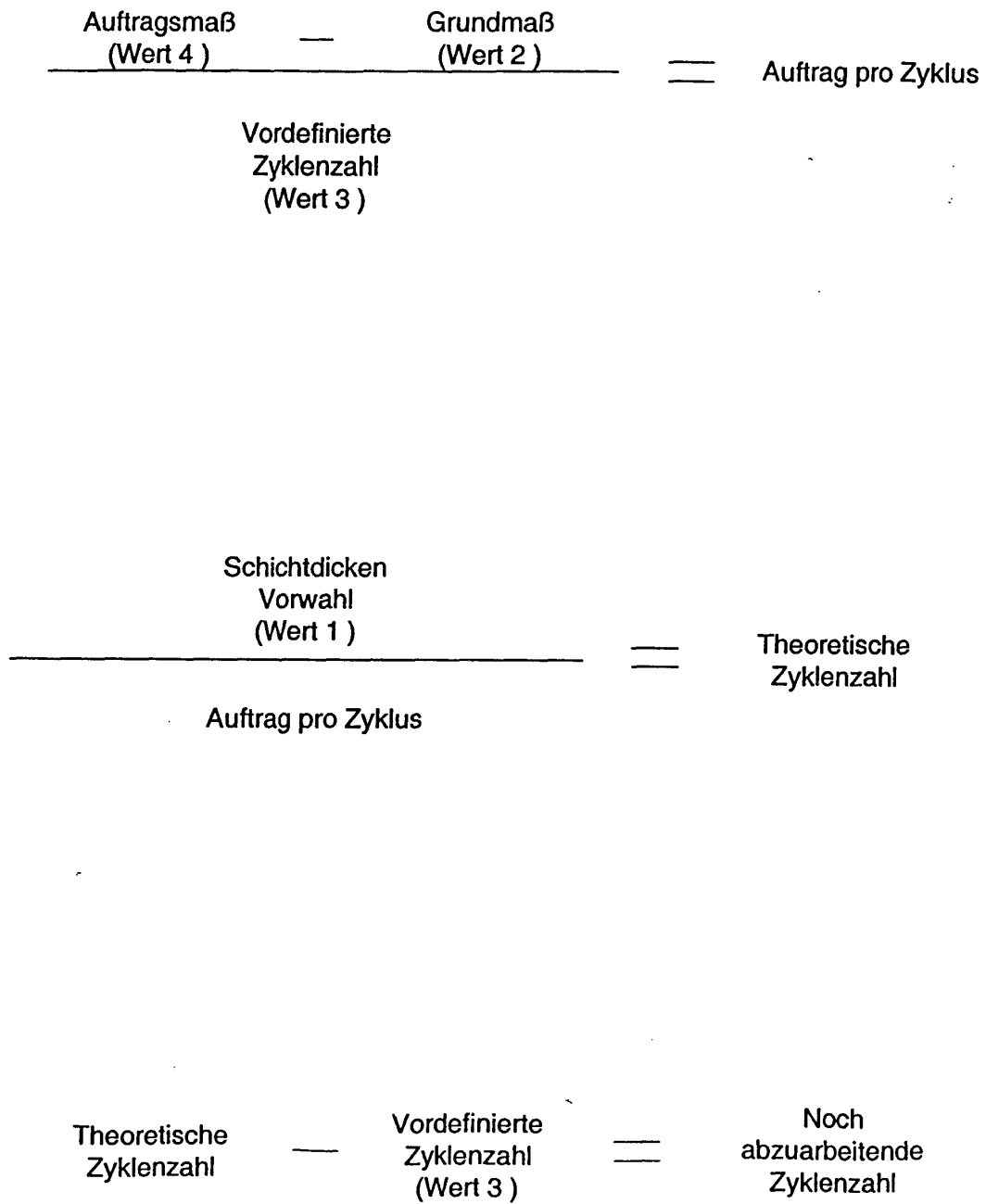


FIG. 2



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 02 02 2736

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
X	US 4 358 471 A (FETHEROFF CHARLES W ET AL) 9. November 1982 (1982-11-09) * Spalte 2, Zeile 49 - Zeile 64; Abbildung 1 * * Spalte 8, Zeile 45 - Spalte 13, Zeile 46 *	1,2,4	C23C4/00
X	--- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 012, no. 070 (C-479), 4. März 1988 (1988-03-04) & JP 62 207852 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD), 12. September 1987 (1987-09-12) * Zusammenfassung *	1,2,4	
X	--- EP 1 014 079 A (UNITED TECHNOLOGIES CORP) 28. Juni 2000 (2000-06-28) * Zusammenfassung * * Spalte 1, Zeile 3 - Zeile 28 * * Spalte 2, Zeile 36 - Zeile 40 * * Spalte 5, Zeile 34 - Zeile 37 * * Spalte 7, Zeile 9 - Zeile 37 *	1,2,4	
A	--- EP 1 111 192 A (UNITED TECHNOLOGIES CORP) 27. Juni 2001 (2001-06-27) * das ganze Dokument *		
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7) C23C
Recherchenort MÜNCHEN		Abschlußdatum der Recherche 28. Januar 2003	Prüfer Hintermaier, F
<p>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE</p> <p>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur</p> <p>T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument</p> <p>& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument</p>			

EPO FORM 1503 03 82 (P04C03)

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

EP 02 02 2736

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.

28-01-2003

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 4358471 A	09-11-1982	US 4334495 A	15-06-1982
		AU 534262 B2	12-01-1984
		AU 4845179 A	17-01-1980
		CA 1123345 A1	11-05-1982
		DE 2967523 D1	07-11-1985
		EP 0007207 A1	23-01-1980
		EP 0077476 A2	27-04-1983
		IL 57529 A	31-03-1983
		IL 64517 A	29-04-1988
		JP 1431569 C	24-03-1988
		JP 55015694 A	02-02-1980
		JP 62040072 B	26-08-1987
		US 4411940 A	25-10-1983
JP 62207852 A	12-09-1987	JP 1829163 C	15-03-1994
EP 1014079 A	28-06-2000	US 6165542 A	26-12-2000
		EP 1014079 A2	28-06-2000
		JP 2000192216 A	11-07-2000
EP 1111192 A	27-06-2001	US 6435830 B1	20-08-2002
		US 6435835 B1	20-08-2002
		US 6270318 B1	07-08-2001
		EP 1111192 A1	27-06-2001
		JP 2001234322 A	31-08-2001
		JP 2001214704 A	10-08-2001
		US 6435826 B1	20-08-2002
		US 2002119043 A1	29-08-2002
		JP 2001226758 A	21-08-2001
		SG 89356 A1	18-06-2002
		US 2002130047 A1	19-09-2002
		US 2001004474 A1	21-06-2001
		US 2001004475 A1	21-06-2001

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