

12 **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

21 Anmeldenummer: **88105239.3**

51 Int. Cl.4: **B24B 19/14 , B24B 49/00**

22 Anmeldetag: **31.03.88**

30 Priorität: **04.05.87 DE 3714805**

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:
17.11.88 Patentblatt 88/46

34 Benannte Vertragsstaaten:
AT CH DE FR GB IT LI NL SE

71 Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft Berlin und München**
Wittelsbacherplatz 2
D-8000 München 2(DE)

72 Erfinder: **Kühne, Ulrich**
Schwalbenweg 11
D-4230 Wesel(DE)
Erfinder: **Meyer, Klaus**
Anna-Friedrich-Strasse 6
D-8524 Neunkirchen am Brand(DE)
Erfinder: **Heine, Karlheinz**
Drosselstrasse 48
D-4230 Wesel 1(DE)
Erfinder: **Rüschmann, Klaus**
Drosselstrasse 17
D-4230 Wesel(DE)

54 **Verfahren zum Herstellen von Profiltteilen durch Schleifen und entsprechend hergestellte Turbomaschinenschaufel.**

57 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Schleifverfahren für Profiltteile, insbesondere Turbinenschaufeln, entsprechend hergestellte Schaufeln sowie typische zugehörige Zwischenprodukte. Um die Zahl der Arbeitsgänge bei der Herstellung zu vereinfachen und eine wirtschaftliche Produktion zu ermöglichen, werden die Konturen von Fuß (2), Kopf (3) und konvexer Saugseite (4) einer Turbinenschaufel durch Tiefschleifen in einer Einspannung hergestellt. Ein für diese Bearbeitung geeigneter Rohling weist an seinen Enden Reststücke (8, 9) auf, welche zur Einspannung dienen und später abgeschnitten werden. Durch Rotation und Translation des Rohlings relativ zu einer schnell rotierenden Schleifscheibe wird die gesamte Schaufelkontur mit Ausnahme der Druckseite hergestellt. Um einen wirtschaftlichen Schleifvorgang zu gewährleisten, folgt beim Vorformen das Zerspanungsvolumen pro Zeiteinheit einer vorgebbaren Funktion, die ggf. auch konstant sein kann. Diese, eventuell orts-und/oder zeitabhängige Funktion des Zerspanungsvolumens pro Zeiteinheit berücksichtigt zur Vermeidung von thermischen Beanspruchungen der Oberflächen-

schicht die Wärmeabfuhr im Werkstück in der Umgebung der jeweiligen Schleifstelle. Beim Fertigschleifen in der gleichen Einspannung wird schließlich die endgültige Kontur und Oberflächenbeschaffenheit erreicht.

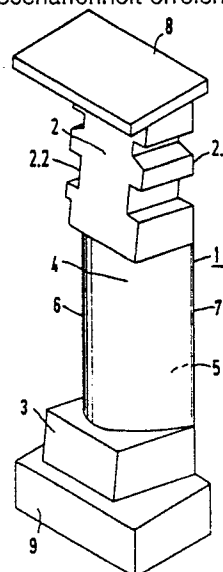


FIG 1

EP 0 290 773 A1

Verfahren zum Herstellen von Profiltteilen durch Schleifen und entsprechend hergestellte Turbomaschinenschaufel

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines Profiltteiles aus einem Rohling gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie eine entsprechend hergestellte Turbomaschinenschaufel und ein zugehöriges Zwischenprodukt.

Die Herstellung von Profiltteilen, z. B. Turbomaschinenschaufeln, insbesondere relativ kleinen Schaufeln, erfordert wegen deren komplizierter Form oft einen großen Bearbeitungsaufwand. Die bisher angewandten Methoden der zerspanenden Bearbeitung erfordern viele Arbeitsgänge mit unterschiedlichen Einspannungen und Bearbeitungswerkzeugen.

Zwar ist es auch bekannt, bei der zerspanenden Bearbeitung Schleifmaschinen einzusetzen, jedoch wurde dies für die Vorformung von komplizierterer Profiltteile, bei denen das herzustellende Querschnittsprofil sich erheblich vom Querschnittsprofil des Rohlings unterscheidet, bisher nicht in Betracht gezogen. Bei bekannten Schleifverfahren werden im allgemeinen lediglich ebene oder einfach geformte, z. B. runde Flächen bearbeitet, wobei eine konstante Relativgeschwindigkeit zwischen Werkstück und Schleifscheibe eingehalten wird.

Aus dem Artikel "Schleifen von Rohteilen mit geregelter Zeitspanvolumen", VDI-Z Bd. 128 (1986) Nr.23/24 Dezember (I/II), S. 935 bis 939, sind Regelungsmöglichkeiten beim Fertigschleifen von Rohteilen bekannt, jedoch handelt auch dieser Artikel nur von einfachen, beispielsweise runden Profiltteilen und betrifft nur das Schruppen und Schlichten als letzten Fertigungsschritt. Die Problematik, die sich beim Vorformen von Profiltteilen aus einem Rohling ergibt, bei denen an manchen Bereichen des Querschnittes viel Material abgetragen werden muß und an manchen wenig, wie dies z. B. bei Turbomaschinenschaufeln der Fall ist, wird nicht angesprochen.

Aus der DE-A-22 43 863 ist eine Schleifvorrichtung zum Bearbeiten von Schaufeln von Strömungsmaschinen bekannt, jedoch beschäftigt sich diese Schrift nicht mit dem Vorformen eines Profils aus einem Rohling, sondern lediglich mit der abschließenden Feinbearbeitung. Überhaupt ist es für Turbinenschaufeln durchaus bekannt, bei der Endbearbeitung und auch bei einzelnen Abschnitten Schleifverfahren einzusetzen. Aus der Zeitschrift "Werkstatt und Betrieb", 118 (1985) 3, München, Deutschland, S. 149 ff. sind bereits einige Probleme, die sich beim Vollschnitt-bzw. Tief Schleifverfahren ergeben, bekannt. Hier werden auch die Probleme der Wärmeeinbringung in das Werkstück erwähnt. Allerdings beschäftigt sich

diese Schrift nicht mit dem Vorformen des eigentlichen Schaufelprofils, sondern lediglich mit der Bearbeitung der Schaufelenden und der abschließenden Feinbearbeitung. Die Probleme des Abtrages von ganz unterschiedlichen Differenzen zwischen Ausgangs- und Endprofil werden nicht angesprochen.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist die Schaffung eines Verfahrens, welches eine möglichst wirtschaftliche Herstellung von Profiltteilen ermöglicht, deren Querschnittsprofil sich zumindest in Teilbereichen erheblich vom Querschnittsprofil des zugehörigen Rohlings unterscheidet. Insbesondere betrifft die Erfindung eine nach diesem Verfahren hergestellte Turbomaschinenschaufel, sowie ein typisches zugehöriges Zwischenprodukt.

Zur Lösung dieser Aufgabe wird ein Verfahren mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1 vorgeschlagen. Vorteilhafte Ausgestaltungen dieses Verfahrens sind in den Ansprüchen 2 bis 4 angegeben.

Als typisches Anwendungsbeispiel ist eine Turbomaschinenschaufel anzusehen, wie sie als entsprechend hergestelltes Produkt in den Ansprüchen 5 und 6 beschrieben ist.

Dabei tritt bei der erfindungsgemäßen Herstellung ferner ein ganz spezifisches Zwischenprodukt auf, welches mit seinen einzelnen Ausgestaltungen in den Ansprüchen 7 bis 10 erläutert wird.

Ein speziell zur Herstellung von kleinen Turbomaschinenschaufeln geeignetes Verfahren wird weiterhin im Anspruch 11 angegeben.

Zum prinzipiellen Verständnis des Wesens der Erfindung ist es notwendig, die unterschiedlichen technischen Gegebenheiten beim Vorformen und Fertigschleifen zu betrachten. Ausschlaggebend für die technische Realisierbarkeit eines Schleifverfahrens sind dabei auch wirtschaftliche Gesichtspunkte. Dies bedeutet, daß einerseits die Bearbeitungszeit nicht zu lang werden darf und andererseits der Verschleiß an Schleifscheiben in vernünftigen Grenzen bleiben muß. Außerdem darf die Qualität des herzustellenden Profiltteiles nicht leiden. Während beim Fertigschleifen insgesamt nur noch geringe Volumina pro Zeiteinheit zerspannt werden, wodurch sich kaum thermische Probleme ergeben, sind beim Vorformen große Volumina pro Zeiteinheit abzutragen, was wegen des damit verbundenen hohen Wärmeeintrages in das Werkstück und die Schleifscheibe nicht ganz unproblematisch ist. Bei komplizierten Profiltteilen, wie z. B. Turbomaschinenschaufeln, gibt es Bereiche, bei denen sehr viel Material abgetragen werden muß und auch Bereiche mit nur einem gerin-

gen Materialabtrag. Dies macht eine besondere Regelung der Vorschübe von Rotation und Translation notwendig, wie dies in den Ansprüchen 2, 3 bzw. 4 beschrieben wird. Die Rotationen und Translationen des Rohlings relativ zur Schleifscheibe sind zunächst durch das herzustellende Profil im wesentlichen festgelegt. Nur die Geschwindigkeit dieser Bewegungen, im allgemeinen Vorschubgeschwindigkeit genannt, ist frei wählbar. Für ein wirtschaftliches Verfahren muß im allgemeinen diese Vorschubgeschwindigkeit möglichst groß gewählt werden. Hier sind jedoch u. a. durch den Wärmeeintrag in das Werkstück Grenzen gesetzt. In Abhängigkeit von der herzustellenden Kontur wird der Vorschub daher gerade so gesteuert oder geregelt, daß das Zerspanungsvolumen pro Zeiteinheit einer vorgebbaren Funktion folgt, vorzugsweise ungefähr konstant bleibt. D. h., daß die Rotation und Translation jeweils verlangsamt werden, wenn sehr viel Material an der gerade bearbeiteten Stelle abzutragen ist. Um einerseits in unkritischen Bereichen schnell schleifen zu können, andererseits aber schädliche Gefügeänderungen an der Oberfläche der endgültig herzustellenden Kontur zu vermeiden, kann auch in zwei oder mehreren Schritten vorgegangen werden, wobei zunächst mit einem großen Zerspanungsvolumen pro Zeiteinheit und bei Annäherung an die endgültig herzustellende Kontur oder in kritischen Bereichen mit einem geringeren Zerspanungsvolumen pro Zeiteinheit gearbeitet wird. Auf diese Weise kann der schädliche Wärmeeintrag in das Werkstück beim Vorschleifen auf die Bereiche begrenzt werden, die beim Fertigschleifen schließlich noch abgetragen werden.

Gemäß Anspruch 4 kann bei der Festlegung einer optimalen Funktion, der das Zerspanungsvolumen pro Zeiteinheit folgen soll, die gesamte Konstellation von Rohling, herzustellendem Profil und erreichtem Bearbeitungszustand berücksichtigt werden. Entscheidend für die Erwärmung des Werkstückes beim Schleifen ist die Wärmeabfuhr von der Schleifstelle aus. Ein Teil des erwärmten Materials wird beispielsweise direkt anschließend abgetragen, so daß dieser Wärmeeintrag unkritisch ist. Außerdem sind die Maße des Werkstückes, seine Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit zu berücksichtigen (kurz: Wärmeabfuhr in der Umgebung der Schleifstelle). Es gilt generell, daß das Zerspanungsvolumen pro Zeiteinheit um so kleiner sein sollte, je schlechter die Wärmeabfuhr an der Schleifstelle ist. Z. B. in sehr dünnen Bereichen des Werkstückes muß daher das Zerspanungsvolumen pro Zeiteinheit u. U. reduziert werden.

Eine Turbinenschaufel mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 5 ist besonders wirtschaftlich herstellbar. Durch Schleifen aller nicht konkaven Konturen der Schaufel in nur einer Ein-

spannung können viele Arbeitsschritte der bisher bekannten Bearbeitungsgänge eingespart werden. Eine Fertigung mit sehr geringen Toleranzen ist möglich, da Ungenauigkeiten durch wechselnde Einspannung des Werkstückes entfallen. Auch kann eine erhebliche Zeitersparnis bei der Herstellung erreicht werden, da die Zwischenlagerung ganzer Chargen von teilweise fertiggestellten Schaufeln bis zur Umrüstung einer Maschine auf neue Bearbeitungswerkzeuge praktisch völlig entfällt.

Ein bei Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens auf die Herstellung von Turbomaschinenschaufeln entstehendes typisches Zwischenprodukt ist mit seiner Form und seinen Größenverhältnissen zur Erläuterung in der Zeichnung dargestellt, und zwar zeigen

Fig. 1 eine perspektivische Ansicht des Zwischenproduktes,

Fig. 2 eine Seitenansicht und

Fig. 3 einen Querschnitt durch das Zwischenprodukt entlang der Linie III-III.

Das Zwischenprodukt weist eine Gesamtlänge f auf, welche größer ist als die Länge a der herzustellenden Schaufel. Die Schaufel selbst besteht aus einem Schaufelfuß 2 mit Stegen 2.1 und Nuten 2.2; dabei kommen alle nach dem Stand der Technik bekannten Fußformen in Betracht. Ferner weist die Schaufel einen Kopf auf, welcher einen parallelogrammförmigen Querschnitt hat und beim späteren Einbau zusammen mit anderen Schaufelköpfen ein geschlossenes Deckband bildet. Die eigentliche Schaufelkontur weist eine gerundete Anströmseite 6, eine spitze Abströmseite 7 und eine konvexe Saugseite 4 auf. Die später konkave Druckseite 5 ist bei dem dargestellten Zwischenprodukt noch nicht fertig hergestellt, sondern nur plan geschliffen. Die Kontur des Schaufelfußes 2 ist um die Länge b verlängert, ebenso ist die Kontur des Schaufelkopfes 3 um die Länge c verlängert. Im Bereich dieser Verlängerungen b , c kann später eine Schneidvorrichtung definiert angesetzt werden. Ferner weist das Zwischenprodukt zwei Reststücke 8, 9 an den beiden Enden auf, welche die nicht notwendigerweise gleichen Längen c bzw. e haben. Diese Reststücke dienen zur festen Einspannung des Rohlings bzw. Zwischenproduktes während des gesamten Schleifvorganges.

Es sei noch darauf hingewiesen, daß das erfindungsgemäße Verfahren naturgemäß auf Profile beschränkt ist, die weniger konkav sind als es der Form der kleinsten verwendeten Schleifscheiben im Neuzustand entspricht.

Die vorliegende Erfindung ermöglicht z. B. eine wirtschaftliche, präzise Herstellung von Schaufeln für Turbomaschinen, wobei durch Einsparung vieler verschiedener Arbeitsschritte ein sehr schneller Fertigungsdurchlauf möglich ist. Die Fertigungspla-

nung wird vereinfacht, da Zwischenlagerungen entfallen; die Herstellungszeit für einen ganzen Satz Schaufeln kann deutlich verkürzt werden.

Ansprüche

1. Verfahren zum Herstellen eines Profilverteils (1) aus einem Rohling, wobei sich das Querschnittsprofil des herzustellenden Teiles zumindest in Teilbereichen quantitativ und qualitativ vom Querschnittsprofil des Rohlings unterscheidet, so daß unterschiedliche Differenzen zwischen Ausgangs- und Endprofil abzutragen sind, **gekennzeichnet durch** folgende Merkmale:

a) Das herzustellende Teil wird in einer Aufspannung mit mindestens einer Schleifscheibe, die vorzugsweise kontinuierlich abgerichtet wird, vorgeformt und fertiggeschliffen.

b) Beim Vorformen wird dem Rohling durch Translation und Rotation relativ zu der oder den, ggf. profilierten Schleifscheibe(n) annähernd das gewünschte Profil gegeben, wobei die örtlichen Schleiftiefen vorzugsweise annähernd gleich den abzutragenden Differenzen gewählt werden.

c) Das Fertigschleifen erfolgt in an sich bekannter Weise vollständig oder abschnittsweise nach dem Vorformen und dient der Glättung der Oberflächen und der maßgenauen Herstellung des Endprofils.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß beim Vorformen die Vorschübe der für die Herstellung des gewünschten Profils nötigen Rotationen und Translationen des Rohlings relativ zur Schleifscheibe in Abhängigkeit von den abzutragenden Differenzen so geregelt oder gesteuert werden, daß das Zerspanungsvolumen pro Zeiteinheit einer vorgebbaren, ggf. ortsabhängigen und/oder zeitabhängigen Funktion folgt, insbesondere zumindest in Teilbereichen konstant bleibt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß beim Vorformen einem ersten Arbeitsschritt mit großem Zerspanungsvolumen pro Zeiteinheit bei Annäherung an die endgültig herzustellende Kontur mindestens noch ein Arbeitsschritt mit geringerem Zerspanungsvolumen pro Zeiteinheit folgt.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß beim Vorformen das Zerspanungsvolumen pro Zeiteinheit in Abhängigkeit von der Wärmeabfuhr im Werkstück in der Umgebung der jeweiligen Schleifstelle gesteuert oder geregelt wird.

5. Turbomaschinenschaufel mit einer konvexen Saugseite (4), einer konkaven Druckseite (5), einem als Halterung ausgebildeten Fuß (2) mit Stegen (2.1) und/oder Nuten (2.2) und einem Kopf (3), der zusammen mit Nachbarschaufeln zu einem ge-

schlossenen Deckband zusammenfügbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß zumindest die Konturen von Fuß (2), Kopf (3) und der konvexen Saugseite (4) durch Tiefschleifen in einer Einspannung hergestellt sind, und zwar durch Schleifen vorgeformt und fertiggeschliffen.

6. Turbomaschinenschaufel nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Schaufel im Bereich der Saugseite (4) und deren Anström-(6) bzw. Abström-Kanten (7) keine starken Gefügeänderungen gegenüber dem Grundmaterial aufweist, jedenfalls keine stärkeren als bei üblichen Bearbeitungsverfahren.

7. Zwischenprodukt (1) für eine Turbomaschinenschaufel, insbesondere nach einem Verfahren hergestellt gemäß Anspruch 1, 2, 3 oder 4, **gekennzeichnet durch** folgende Merkmale:

a) Das Zwischenprodukt (1) besteht aus einem langgestreckten Metallblock, vorzugsweise mit etwa rechteckigem oder parallelogrammförmigem Querschnitt, dessen Länge (f) 5 bis 30 %, vorzugsweise etwa 20 % größer als die Länge (a) der herzustellenden Schaufel ist.

b) Die Saugseitenkontur, die Fußkontur und die Kopfkontur der Schaufel sind ganz oder teilweise in den Metallblock hineingeschliffen, wobei sowohl an der Fuß- wie an der Kopfseite Reststücke (7, 8) mit dem ursprünglichen Querschnitt des Stahlblockes überstehen.

c) Die Längenmaße der Fußkontur und der Kopfkontur überschreiten geringfügig die tatsächlich herzustellenden Maße, vorzugsweise um mindestens die Schnittbreite einer Säge- oder Schneideinrichtung.

8. Zwischenprodukt nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Überstand (d, e) der Reststücke (8, 9) an der Fuß- bzw. Kopfseite mindestens 2 mm beträgt.

9. Zwischenprodukt nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Übermaß (b, c) der Fuß- bzw. Kopfkontur zwischen 0,5 und 4 mm, vorzugsweise etwa 3 mm beträgt.

10. Zwischenprodukt nach Anspruch 7, 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Druckseite (5) der Schaufel zumindest bis zur Verbindungsebene zwischen Anström- und Abströmkante vorgechliffen ist.

11. Verfahren nach Anspruch 1, 2, 3 oder 4 zur Herstellung eines Zwischenproduktes gemäß Anspruch 7, 8, 9 oder 10, **gekennzeichnet durch** folgende Verfahrensschritte:

a) Ein langgestreckter Metallblock mit vorzugsweise etwa rechteckigem oder parallelogrammförmigem Querschnitt wird an seinen beiden Enden eingespannt.

b) Durch Rotation um die Längsachse des Metallblockes, und Translation relativ zu einer - schnell rotierenden Schleifscheibe werden die Ko-

nturen von Saugseite (4), Schaufelfuß (2) und
Schaufelkopf (3) in den Metallblock geschliffen,
wobei durch Verkippen des Metallblockes um einen
bestimmten Winkel auch eine radiale Verjüngung
der Schaufel ohne Änderung der Einspannung her- 5
gestellt werden kann.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

5

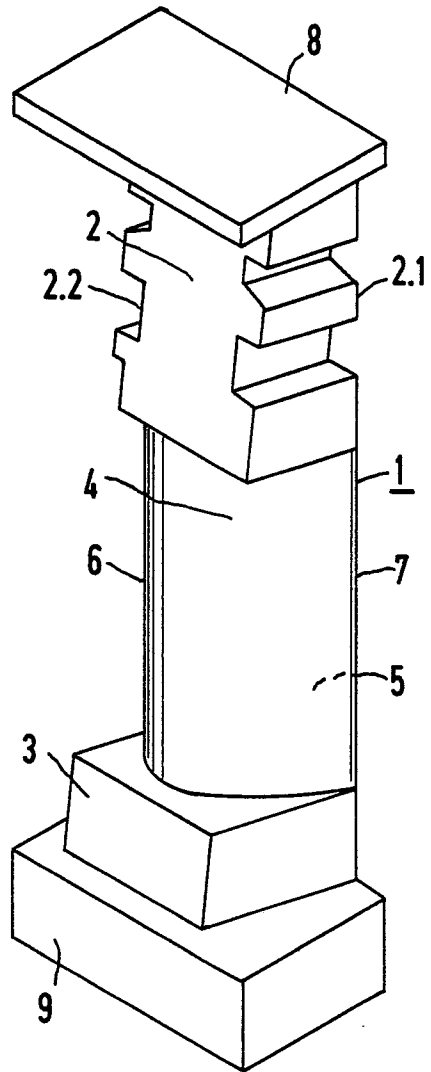


FIG 1

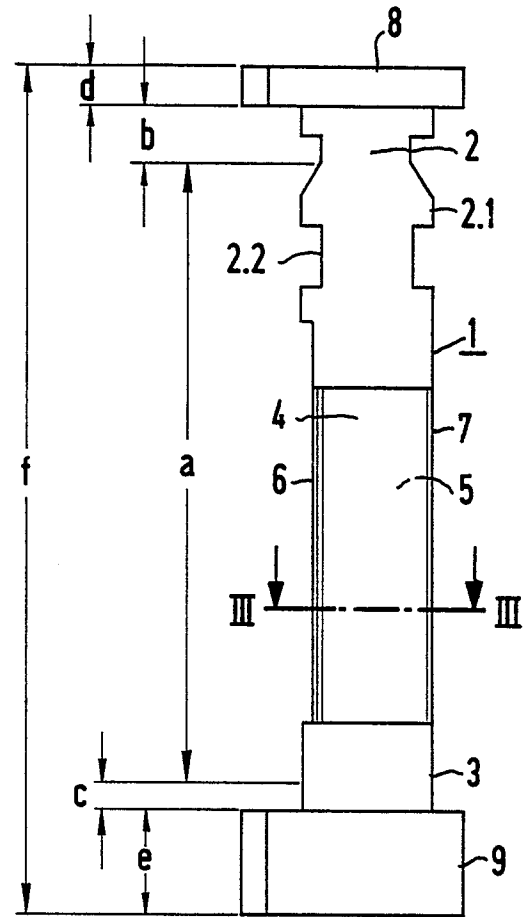


FIG 2

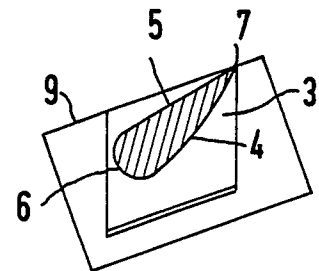


FIG 3



EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.4)
A	DE-A-2 243 863 (STORK N.V.) * Anspruch 1 * ---	1,2,5-7	B 24 B 19/14 B 24 B 49/00
A	DE-A-3 221 395 (W. LANG) * Anspruch 3 * ---	1,2,5-7	
A	FR-A-2 064 491 (VSESOJUZNY NAUCHNO) * Seite 1, Zeile 24 - Seite 2, Zeile 8 * ---	1,2	
A	WERKSTATT UND BETRIEB, Band 118, Nr. 3, März 1985, Seiten 149-152, München, DE; H. HAENITH et al.: "Schleifen und Drehen von Turbinenschaufeln in einer Aufspannung" * Insgesamt * ---	1,2	
A	AVIATION WEEK & SPACE TECHNOLOGY, 22. Dezember 1986, Seiten 68-69; D.A. BROWN: "Rolls profits from equipment for automated blade grinding" * Insgesamt * ---	5	
A	US-A-3 984 213 (KELSO) * Spalte 1, Zeilen 1-48 * ---	5	
A	FR-A- 963 320 (THE BRISTOL AEROPLANE) * Seite 2, Zeile 100 - Seite 3, Zeile 35 * ---	7,11	
A	US-A-4 420 685 (OHTANI et al.) ---		
A	US-A-4 018 010 (POZZETTI et al.) ---		
A	US-A-4 031 368 (COLDING et al.) -----		
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 23-08-1988	Prüfer ESCHBACH D.P.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 : nichtschriftliche 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 andern Gründen angeführtes Dokument ----- & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	