

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

**EP 0 728 545 A2**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**28.08.1996 Patentblatt 1996/35**

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>: **B22C 23/00**

(21) Anmeldenummer: **96102495.7**

(22) Anmeldetag: **20.02.1996**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**CH ES FR GB LI**

(30) Priorität: **22.02.1995 DE 19506145**

(71) Anmelder: **MTU Motoren- und Turbinen-Union  
Friedrichshafen GmbH  
88045 Friedrichshafen (DE)**

(72) Erfinder:  
• **Hofmeister, Heinz, Dipl.-Ing.  
88069 Tett nang (DE)**  
• **Reichle, Werner, Dipl.-Ing.  
88636 Illmensee (DE)**

**(54) Werkzeug für die giesstechnische Herstellung eines Schaufelrades**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Werkzeug für die Herstellung eines Schaufelrades einer Strömungsmaschine mit gekrümmten Schaufeln, insbesondere eines Radialverdichterrades mit räumlich gekrümmten Schaufeln, bei welcher Formteile (5) zur Darstellung der Schaufelzwischenräume mit einem Transportmechanismus (30) verbunden sind, welcher diese Formteile (5) in vorgeschriebenen Bahnen bewegt. Um ein Werkzeug (1) mit mechanischer Ausformung zu schaffen, mit welcher Schaufelräder (20) mit räumlich gekrümmten Schaufeln hergestellt werden können, wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, die einzelnen, komplementären Formsegmente (5) mit einem Transportmechanismus (30) mit Kulissenführung zu bewegen. Die verwendete Kulisse weist Leitkurven (10) auf mit einem Krümmungsverlauf der archimedischen Spirale der Schaufelfußlinie (27), wobei der Verlauf im umfangsnahen Bereich über einem Wendepunkt (44) seine Krümmung ändert. Die Leitkurven (10) dienen als Führung für zwei Mitnahmeelemente (11, 12), die in gegenseitigem Abstand mit den Formsegmenten (5) verbunden sind. Die Mitnahmeelemente (11, 12) und jeweils die Leitkurve (10) bilden gemeinsam eine Zwei-Punkt-Führung, bei deren Durchlaufen jedes Formsegment (5) in einer überlagerten Verschiebe-/Drehbewegung aus dem Schaufelzwischenraum bewegt wird. Mit der vorgeschlagenen Gußform (1) können sogar die Schaufelzwischenräume eines Radialturboverdichterrades (20) in einer ebenen Bewegung durch eine einzige Drehbewegung des Transportmechanismus (30) synchron und symmetrisch in einem Arbeitsgang entformt werden.

**EP 0 728 545 A2**

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Werkzeug für die Herstellung eines Schaufelrades einer Strömungsmaschine mit gekrümmten Schaufeln, mit den im Oberbegriff des Patentanspruchs 1 genannten Merkmalen.

Schaufelräder von Strömungsmaschinen, wie beispielsweise Lüfterräder, Turbinenräder oder Verdichterräder eines Radialturboverdichters werden größtenteils gegossen. Als zur Herstellung dieser komplizierten Schaufelräder geeignete Gießverfahren kommen üblicherweise das Kokillenguß- oder das Feingußverfahren zum Einsatz. Leit- und Laufräder von Strömungsmaschinen werden ferner im Sandgußverfahren hergestellt, wobei vielfach das Formmaskenverfahren nach Croning angewendet wird.

Alternativ zu der urformtechnischen Herstellung von Schaufelrädern, ist auch eine spanabhebende Fertigung anwendbar. So werden speziell Lüfter- und Verdichterräder aus Aluminium- und Titanwerkstoffen auch mittels Fünfachsenfräsen gefertigt. Sobald jedoch andere, verschleißfestere Werkstoffe, wie z. B. Stahlwerkstoffe, verarbeitet werden, verteuert sich die Herstellung dieser Räder durch Fünfachsenfräsen derart erheblich, daß eine Anwendung dieser Verfahren praktisch ausgeschlossen ist.

Für die Fertigung von Hochleistungsradialverdichterrädern und Turbinenschaufelrädern, wie diese beispielsweise in Abgasturboladern verwendet werden, sind die gießtechnischen Herstellungsmöglichkeiten weitgehend auf Feinguß- bzw. Feinspritzgußverfahren beschränkt. Gründe hierfür sind die aus betriebsdynamischen Gesichtspunkten zwingend erforderliche Einstückigkeit der Räder und die aufgrund der hohen thermischen Belastung zu wählenden Rad-Materialien. Infolgedessen eignet sich von den bekannten Gießverfahren praktisch nur das Wachsausschmelzverfahren zur Herstellung solcher Schaufelräder. Doch auch hierbei müssen, wegen der hohen Schmelztemperatur der zu verarbeitenden Gußmaterialien, Feingußformen verwendet werden, welche diesen hohen Temperaturen der Metallschmelze standhalten. Solche Feingußformen sind wiederum nur mit Hilfe eines Modells herzustellen. Ein solches Modell besteht aus speziellem Formwachs und entspricht hinsichtlich seiner geometrischen Abmessungen exakt dem herzustellenden Gußstück. Zu berücksichtigen hierbei sind allerdings die gießtechnisch erforderlichen Schwindmaße. Das Modell wird allseitig vom Formwerkstoffumgeben und verbleibt nach der Verdichtung des Formwerkstoffes zunächst in der Gußform.

In einem Autoclav wird das Wachsmo­dell aus der Formschale ausgelöst, wodurch Hohlräume in der Gußform frei werden, die dem Gußstück entsprechen. Beim Abgießen der Formen werden die Hohlräume von der heißen Metallschmelze ausgefüllt, sodaß nach dem Erstarren der Schmelze in der Gußform das fertige Gußstück ausgeformt werden kann.

Da das Wachsmo­dell ausgeschmolzen und daher nicht wiederverwendet werden kann, kommt einer weitgehend automatisierten Modellherstellung in Serienproduktion bei gleichzeitig gleichbleibend hoher Maßgenauigkeit der Modelle große Bedeutung zu.

Zur Herstellung von Turbinenrädern im Wachsausschmelzverfahren ist der Anmelderin als nicht druckschriftlicher Stand der Technik eine Modelleinrichtung bekannt, bei der ein hoher Mechanisierungsgrad erreicht ist. Diese bekannte Modelleinrichtung besteht aus mehreren zueinander komplementären Formsegmenten, die zusammengesetzt, das Werkzeug für das Wachsmo­dell ausbilden. Die Anzahl der Segmente entspricht der Anzahl der Schaufeln des Turbinenrades, wobei die Segmente auf einem ebenen Transportmechanismus verschiebar festgelegt sind. Der Transportmechanismus führt die Formsegmente beim Schließen des Werkzeugs in einer Linearbewegung im wesentlichen zentrisch oder tangential in Richtung auf die Nabe des Turbinenrades hin zusammen. Bei geschlossenem Werkzeug werden die Segmente in Umfangsrichtung von einem geteilten Ring umgeben, welcher als Formteil, die Außenkontur der Schaufeln definiert. Schließlich wird das Werkzeug in axialer Richtung durch eine Gegenplatte begrenzt, die die hintere Nabenkontur des Turbinenrades vorgibt und gleichzeitig die Formsegmente in ihrer zusammengeführten Lage fixiert.

Der bekannte Transportmechanismus besteht im wesentlichen aus einer Trägerplatte mit der flächig übereinander, auf einer gemeinsamen Achse angeordnet, eine Zugscheibe und eine Kurvenscheibe verbunden sind. Die Kurvenscheibe ist drehfest an der Trägerplatte festgelegt, während die zwischen Trägerplatte und Kurvenscheibe angeordnete Zugscheibe um die gemeinsame Achse verdrehbar ist. Auf der drehbaren Zugscheibe sind in der Art einer Kulissenführung entsprechend der Zahl der Formsegmente Nuten ausgebildet, welche spiralförmig nach außen verlaufen. Die fixe Kurvenplatte weist schlitzförmige Ausnehmungen auf, welche tangential zur Radnabe strahlenförmig in Richtung Scheibenumfang verlaufend ausgebildet sind. Auch die Zahl der Ausnehmungen entspricht der Zahl der Formsegmente. Jedes der Segmente liegt flächig auf der Kurvenscheibe auf und besitzt einen von der Kontaktfläche ausgehenden und mit diesem verbundenen Nutstein. Der Querschnitt des Nutsteines ist über einen Längenabschnitt der Ausnehmung paßgenau auf diese Ausnehmung in der Kurvenscheibe abgestimmt und ragt durch diese hindurch bis in eine Nut der darunterliegenden Zugscheibe. Während dieser paßgenau verschiebbare Nutstein in der Ausnehmung der Kurvenplatte eine Führung erfährt, folgt das in die spiralförmige Nut der Zugscheibe ragende freie Ende des Nutsteines bei einer Verdrehung der Zugscheibe relativ zu der Kurvenscheibe dem Verlauf dieser Nut. Bedingt durch die vorgesehene Führung in der Führungsscheibe, ist der Nutstein in seiner Bewegung in Umfangsrichtung gehemmt und erfährt bei Drehen der Zugscheibe eine Verschiebung entlang der Ausnehmung. Gleichzeitig

mit dem Nutstein beschreibt das jeweils mit diesem verbundene Segment eine lineare Verschiebebewegung.

Auf diese Weise werden durch den bekannten Transportmechanismus sämtliche Schaufelsegmente symmetrisch aus den Schaufelzwischenräumen des ausgehärteten Wachsmodells herausgefahren.

Obwohl sich die bekannte Modelleinrichtung bei der Serienfertigung von Turbinenrädern bestens bewährt hat, weist sie dennoch den Nachteil auf daß sie, bedingt durch ihre radial-tangential gerichtete lineare Verschiebbewegung der Schaufelzwischenraumsegmente, auf die Geometrie der geraden Schaufeln bei Turbinenrädern beschränkt ist.

Schaufelräder mit gekrümmten Schaufeln müssen wegen der aufwendigen Geometrie ihrer Schaufeln nachwievor mit Hilfe von entsprechend kompliziert gestalteten Werkzeugen, die aus mehreren einzelnen Formteilen zusammengesetzt sind, hergestellt werden..

Solche aus mehreren Teilen oder Einzelsegmenten aufgebauten Werkzeuge weisen jedoch Maßungenauigkeiten durch Teilungsfehler auf oder die Fertigungskosten der entsprechend formstabil und paßgenau zu fertigenden Teile sind sehr hoch. Jedenfalls ist das sorgfältige Zusammensetzen solcher einzelner Formteile zu dem Werkzeug sehr arbeits- und kostenintensiv, da die losen Teile bedingt durch die aufwendige Schaufelgeometrie, durch Drehen, Abheben und gleichzeitiges Abziehen vom gegossenen Wachsmodell manuell entfernt werden.

Da ferner das zur Modellbildung verwendete Formwachs relativ weich ist, werden bei der Einzelausformung der Schaufelzwischenräume häufig die Schaufelkontur und der Schaufelgrund deformiert. Diese Deformierungen des Modells führen zu Maßabweichungen am fertiggestellten Schaufelrad und damit letztlich zu einer vergrößerten Unwucht und Leistungsabweichung des Rades.

Der Erfindung liegt das technische Problem zugrunde, ein Werkzeug zu schaffen, mit welchem Schaufelräder mit räumlich gekrümmten Flächen mit hoher Maßgenauigkeit einfach und kostengünstig hergestellt werden können.

Die Lösung dieses technischen Problems ist ausgehend von den Merkmalen eines gattungsgemäßen Werkzeugs durch die kennzeichnenden Merkmale des Patentanspruchs 1 gegeben. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Erfindungsgemäß ist also ein Werkzeug mit einem Transportmechanismus aufgezeigt, bei welchem sämtliche Schaufelzwischenräume von Schaufelrädern, deren Winkel zwischen Ein- und Austrittskante einer Schaufel multipliziert mit der Anzahl der Schaufeln einen Winkel größer als 360 Grad ergeben, in einem Arbeitsgang ausgeformt werden können. Bei der erfindungsgemäßen Ausformung von Schaufelrädern mit gekrümmten Schaufeln, beschreiben ferner alle Schaufelzwischenraum-Segmente, trotz der komplizierten Schaufelgeometrie, eine ebene Bewegung. Dadurch

kann der Transportmechanismus einfach gestaltet und mit geringem baulichen Aufwand dargestellt werden. Ferner erhöht die ebene Führung der Form-Segmente auf der Kurvenscheibe ein exaktes Herausfahren der Form-Segmente aus den dreidimensional geformten Bereichen zwischen den einzelnen Schaufeln, sodaß Beschädigungen der räumlich gekrümmten Schaufelkontur zuverlässig vermieden werden können.

Hinsichtlich eines schadfreien Ausformvorgangs, kommt der vorteilhaften Kinematik des erfindungsgemäßen Transportmechanismus eine besondere Bedeutung zu. Insbesondere erschließt das erfindungsgemäß an jedem Formsegment vorgesehene zusätzliche Führungselement, im Vergleich zu bisher bekannten Ausformungsmechanismen einen zusätzlichen Freiheitsgrad für die Bewegung des Formsegments. Neben der herkömmlichen linearen Bewegung der Formsegmente besteht damit die Möglichkeit, daß jedes Segment des erfindungsgemäßen Werkzeugs auch eine Relativbewegung um seine Hochachse durchführen kann. Praktisch wird damit der Translationsbewegung der Segmente eine Drehbewegung überlagert, die zwingend notwendig ist, um die Schaufelzwischenraum-Formsegmente ohne Beschädigung der Schaufelkontur aus dem Werkzeug herausführen zu können. Die Darstellung einer solchen mehrfach überlagerten Ausformbewegung der Formsegmente war bisher nicht bekannt und darüberhinaus der Grund, weshalb beispielsweise die Wachsmodelle von Radialverdichterrädern nur durch aufwendige Einzelentformung der Schaufelzwischenräume durch Urformen hergestellt werden konnten.

Neben der Notwendigkeit, die Formsegmente während der Ausformbewegung um ihre Hochachse drehen zu können, ergibt sich ein weiterer bedeutender Vorteil aus dem erfindungsgemäß vorgesehenen Verlauf der Leitkurve. Bei jedem Leitkurvenverlauf wechselt die Krümmung über einen Wendepunkt ihr Vorzeichen. Dieser Vorzeichenwechsel bewirkt zusammen mit der erfindungsgemäß vorgesehenen Zweipunktführung eine Richtungsumkehr der Drehbewegung jedes Formsegments beim Durchfahren der Leitkurve. Die Drehrichtungsumkehr wiederum ermöglicht das Freistellen der einzelnen Schaufelzwischenraum-Formsegmente beim Ausformen des Schaufelrades. Ohne diese Drehrichtungsumkehr würden die freien Enden der Schaufelkonturformteile aufgrund der sich in radialer und axialer Richtung überlappenden Geometrie der Beschauelung aneinanderstoßen und beschädigt werden noch bevor sie ganz aus den Schaufelzwischenräumen herausgeführt wären.

Weitere vorteilhafte Einzelheiten und Merkmale der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines speziellen Ausführungsbeispiels der Erfindung anhand der Zeichnung.

Es zeigt.

Figur 1: einen Halbschnitt durch ein erfindungsgemäßes Werkzeug;

- Figur 2: eine Draufsicht des Transportmechanismus des Werkzeugs aus Figur 1 mit teilweise freigeschnittenem Blick auf die Zugscheibe und exemplarisch in Ausgangs- und Ausformposition dargestellten Schaufelzwischenraum-Formsegmenten;
- Figur 3: eine räumliche Darstellung des Werkzeugs im Teilschnitt mit Schaufelzwischenraum-Formsegmenten in Ausformposition;
- Figur 4: eine Draufsicht eines mit dem erfindungsgemäßen Werkzeugs hergestellten Radialverdichterrades mit räumlich gekrümmten Schaufeln.

In Figur 1 ist ein erfindungsgemäßes Werkzeug 1 für die Herstellung eines Radialverdichterrades 20 im Wachsausschmelz-Feingußverfahren gezeigt. Dieses Werkzeug 1 dient als Modelleinrichtung zur Herstellung eines Wachsmodells des in Figur 4 dargestellten Radialverdichterschaufelrades 20.

Die Beschauelung des Verdichterrades 20 besteht aus 6 Vollschaufeln 22 und weiteren 6 jeweils zwischen zwei benachbarten Vollschaufeln 22 angeordneten Splitterschaufeln 21. Vollschaufeln 22 und Splitterschaufeln 21 sind in gleichen Winkelabständen angeordnet, wobei sowohl die Vollschaufeln 22 als auch die Splitterschaufeln 21, sprich deren Fußlinie 27, positiv gekrümmt sind ( $\beta < 90$  Grad). Ferner sind die Schaufeln 21 und 22 auch in axialer Strömungsrichtung gekrümmt. Diese axiale Schaufelkrümmung ist austrittsseitig weniger und im Radnabenbereich deutlicher ausgebildet. Die damit vorgesehene räumliche Krümmung der an dem Radialverdichterschaufelrad 20 ausgeführten Geometrie der Beschauelung 21, 22 ist speziell dadurch beschrieben, daß der Winkel 24 zwischen Eintrittkante 26 und Austrittkante 25 der Vollschaufeln 22 multipliziert mit der Anzahl der Vollschaufeln 22 einen Winkel größer als 360 Grad ergibt. Diese geometrische Vorgabe kennzeichnet damit ebenfalls die räumliche Ausbildung der Schaufelzwischenraumkanäle, und davon insbesondere, die Krümmung des Kanals in Umfangsrichtung. Diese Krümmung ist damit nämlich auf ein Mindestmaß festgelegt, bei welchem ein bloßes Herausziehen der Schaufelzwischenraum-Segmente 5 nicht mehr möglich ist. Hier setzt nun die Erfindung ein, die zur Herstellung des beschriebenen Radialverdichterschaufelrades 20 wie in den Figuren 1 bis 3 dargestelltes Werkzeug vorschlägt.

Das Werkzeug 1 ist im wesentlichen rotations-symmetrisch aufgebaut und aus mehreren Teilen zusammengesetzt. Die einzelnen Teile des Werkzeugs 1 können ganz allgemein in die eigentlichen, die Gußstückkontur darstellenden Formteile 2, 3, 4 und in Teile eines Transportmechanismus 30 für Schaufelzwischenraum-Formsegmente 5 unterschieden werden. Bei der dargestellten Gußform sind folglich zwölf dieser

Schaufelzwischenraum-Formsegmente 5 auf dem Transportmechanismus 30 montiert. Die Anzahl der Schaufelzwischenraum-Formsegmente 5 entspricht der Zahl der Schaufeln 21, 22 des Radialverdichterschaufelrades 20.

Jedes dieser Schaufelzwischenraum-Formsegmente 5 besteht aus einem Segmentfuß 14 und einer an diesen einstückig angeformten Schaufelkonturform 15, 16. Die Segmentfüße 14 haben jeweils den Umriß eines Kreissektors, dessen Seitenflächen 34, 35 in Umfangsrichtung gekrümmt sind. Die Krümmung dieser paßgenaufertigten Seitenflächen 34, 35 entspricht der Krümmung der Schaufelfußlinie 25, während sich die radialen Seitenflächen 36, 37 der Segmentfüße 14 jeweils zu Zylindermantelflächen ergänzen. Die Zwischenraum-Formsegmente 5 sind komplementär zueinander ausgebildet und stellen in zusammengesetzter Position A gemeinsam eine Art Formkern für die später am Radialverdichterrad 20 vorgesehenen Schaufelzwischenräume 23 dar. Dabei ergänzen sich die zwölf Segmentfüße 14 zu einer kreisringförmigen Scheibe deren Innenlochdurchmesser gleich dem Durchmesser der Werkzeugnabe 28 ist. In die Werkzeugnabenöffnung ist ein Anschlagbolzen 17 eingesteckt und mit dem Transportmechanismus verschraubt. Die zylinderförmige Umfangsmantelfläche dieses Anschlagbolzens 11 bildet die Endposition A für die Schaufelzwischenraum-Formsegmente 5 bei geschlossener Form 1.

Den von den Schaufelzwischenraum-Formsegmenten 5 gebildeten Formkern, umfaßt in radialer Richtung ein geteilter Ring 4. Der Formring 4 definiert die Schaufelradaußenkontur und ist entlang seines Durchmessers in zwei Halbringteile geteilt, die jeweils paßgenau auf die Außenumfangsfläche der Fußscheibe aufgesetzt sind. Der geteilte Ring 4 bildet entlang seiner Außenumfangsfläche ein in Richtung weg von dem Transportmechanismus 30 konisch zulaufende Spannfläche 50 aus, auf die ein mit einer gegengleich ausgebildeten konischen Spannfläche 52 versehener Fixiering 3 aufgeschoben ist. Dieser spannt aufgrund der konischen Spannflächen 50, 52 und der damit in radialer Richtung erzeugten Kraftkomponente den geteilten Ring 4 gegen die Schaufelzwischenraum-Formsegmente 5 und fixiert damit die Formteile 4, 5 in ihrer Lage.

Schließlich wird das Werkzeug 1 in axialer Richtung auf der dem Transportmechanismus 30 abgewandten Seite, durch eine Gegenplatte 2 abgeschlossen. Die Gegenplatte 2 formt die rückseitige Nabenkontur des Verdichterrades 20 aus und liegt entlang einer kreisförmigen Kontaktfläche auf dem geteilten Ring 4 auf. In dieser Lage hält sie gleichzeitig den Fixiering 3 nieder und spannt damit die Formteile 3, 4, 5 in axialer Richtung auf den Transportmechanismus 30.

Der Transportmechanismus 30 der Schaufelzwischenraum-Formsegmente 5 ist in den Figuren 2 und 3 gezeigt. Bei diesem Transportmechanismus 30 sind auf einer Trägerplatte 6 auf einer gemeinsamen Achse 54,

die gleichzeitig auch Mittelachse des Werkzeugs 1 ist, flächig übereinander eine Zugscheibe 7 und eine Kurvenscheibe 8 angeordnet. Dazu ist auf der Trägerplatte 6 eine kreiszylinderförmige Ausnehmung 31 ausgebildet, in der die Zugscheibe 7 Aufnahme findet. Radial auswärts von der Ausnehmung 31 verbleibt ein Rand 32 der Trägerplatte 6, der ein Auflager für die Kurvenscheibe 8 bildet, die auf diesem drehfest festgelegt ist. Der Rand 32 steht in axialer Richtung geringfügig über die in die Ausnehmung 31 eingelegte Zugscheibe 7 vor, so daß die Zugscheibe 7 zwischen der Trägerplatte 6 und der Kurvenscheibe 8 montiert ist und um die gemeinsame Achse 54 verdreht werden kann. Ein geeignetes Handhabungsteil 33 ist am Umfang in radialer Richtung an der Zugscheibe 7 angebracht und kann in einer Aussparung des Randes 32 über einen Winkelbereich 38 bewegt werden. Die Aussparung ist mindestens über einem Winkelbereich vorgesehen, der dem Drehwinkel der Zugscheibe 7 zwischen geschlossenem Werkzeug (Position A) und der Gußform 1 in ausgeformter Stellung B entspricht.

In der Zugscheibe 7 sind insgesamt zwölf von der Scheibenachse 54 zum Umfang hin verlaufende Zugschlitz 9 ist so ausgebildet, daß beim Verdrehen die Kraftkomponente zum Öffnen der Segemente 5 in Längsrichtung der Leitkurve 10 auf der Kurvenscheibe 8 gerichtet wird. Alle Zugschlitz 9 beginnen auf einer gemeinsamen Kreislinie mit radialem Abstand zur Nabenöffnung 28 und enden ebenfalls auf einer gemeinsamen Kreislinie, deren Radius kleiner ist als der Radius der Zugscheibe 7. Die Zugschlitz 9 sind mittels eines Fingerfräasers in die Scheibe 7 eingefräst, dessen Durchmesser gleich der Breite der Zylinderschlitze 9 ist. Demzufolge werden die Zugschlitz 9 in Drehrichtung der Zugscheibe von zueinander parallelen Flanken 39, 40 begrenzt.

Die über der Zugscheibe 7 angeordnete und mit der Trägerplatte 6 drehfest verbundene Kurvenscheibe 8 weist ebenfalls zwölf im wesentlichen von der Kurvenscheibenmitte nach außen verlaufende Leitkurven 10 auf die als Ausnehmungen in die Kurvenscheibe 8 eingefräst sind. Der Verlauf der Leitkurven 10 in der Kurvenscheibe 8 entspricht aufgrund des Bildungsgesetzes der Schaufelgeometrie im radialinneren Abschnitt einer archimedischen Spirale mit Zentrum auf der Achse 26 des Werkzeugs 1.

Die Leitkurve 10 ändert im äußeren Abschnitt so die Krümmung, daß das Freistellen der einzelnen Schaufelzwischenraum-Formsegmente 5 mittels Zweipunktführung 11, 12 und Leitkurvenverlauf 10 beim Ausformen gewährleistet wird. Die Zahl der Leitkurven 10 und der Zugschlitz 9 ist nicht zwingend auf zwölf beschränkt, sondern entspricht jeweils der Zahl der Schaufelzwischenraum-Formsegmente 5 und hängt damit von der Schaufelzahl des herzustellenden Schaufelrades ab.

Die Leitkurven 10 und die Zugschlitz 9 sind in entgegengesetzter Umfangsrichtung gekrümmt, wobei jeder Leitkurve 10 der Kurvenscheibe 8 ein darunterlie-

gender Zugschlitz 9 zugeordnet ist, und so die Kurvenscheibe 8 und die Zugscheibe 4 zusammenwirkend eine Transportbewegung bewirken.

Die Zuordnung jeweils eines Zugschlitzes 9 zu einer ausgewählten Leitkurve 10, erfolgt mit Hilfe eines Transportbolzens 11. Der Transportbolzen 11 ist fest mit dem Schaufelzwischenraum-Formsegment 5 verbunden, beispielsweise ist, im vorliegenden Ausführungsbeispiel ein freies Ende des Transportbolzens 11 in Segment 5 eingeschraubt. Die freie Länge des Transportbolzens 11 durchgreift eine Leitkurve 10 der Kurvenscheibe 8 und ragt in den entsprechend darunterliegenden Zugschlitz 9 der Zugscheibe 7. Damit bildet der Transportbolzen 11 einen Schnittpunkt des Zugschlitzverlaufs und des Leitkurvenverlaufs.

Die Bewegung des Transportbolzens 11 ist durch diese Kopplung beider Verläufe aneinander festgelegt. In der Art einer Kulissenführung erfolgt dieser der Wanderung des Schnittpunktes beider Verläufe, sobald die Zugscheibe 7 relativ zu der Kurvenscheibe 8 verdreht wird. Da nun die Kurvenscheibe 8 als ortsfest betrachtet wird, bewegt sich der Transportbolzen bei einer Bewegung der Zugscheibe 7 in Richtung 41 in der Leitkurve 10 und folgt dabei dem Verlauf des Zugschlitzes 9 in Richtung Kurvenscheibenumfang. Bei entgegengesetzter Drehrichtung 42 wird er in entgegengesetzter Richtung wieder auf den Mittelpunkt der Kurvenscheibe 8 zu verschoben.

Hierbei wirken also die Kurvenscheibe 8 als Kulissenführung und die drehbare Zugscheibe 7 als Antrieb für den Transportbolzen 11 des Transportmechanismus 30.

Der Transportbolzen 11 selbst, bzw. seine freie Länge weist zwei Längenabschnitte 11a, 11b auf zwischen denen in axialer Richtung ein umlaufender Bund 13 ausgebildet ist. Während der Bund 13 einen größeren Durchmesser besitzt als die Breite der Leitkurve 10, sind die Leitkurve 10 und der Längenabschnitt 11a paßgenau aufeinander abgestimmt. Die getroffene Wahl der Fertigungstoleranzen dieser Führungspaarung 10, 11 legt die Maßgenauigkeit der Bewegung der Formsegmente 5 fest. Ein wesentliches Merkmal der Erfindung ist hierbei, die bei der Paarung Transportbolzen 11/Leitkurve 10 geschaffene Linienführung entlang einer Mantellinie des Transportbolzens 11. Denn nur eine möglichst kleine Berührungsfläche in Längsrichtung der Leitkurve 10 stellt sicher, daß der Transportbolzen 11 nicht in der Leitkurve 10 klemmt oder verkeilt. Desweiteren ist damit gewährleistet, daß das Formsegment 5 trotz fest mit diesem verbundenen Transportbolzen 11 eine Drehbewegung um dessen Längsachse ausführen kann.

Alternativ zu diesem Transportbolzen 11 kann ein Mitnahmeelement mit einer flächenhaften Führung vorgesehen sein, jedoch muß dieses Mitnahmeelement um seine Längsachse verdrehbar im Formsegment 5 verankert sein, um dadurch die Drehbarkeit des Formsegmentes 5 auf der Kurvenscheibe 8 sicherzustellen.

An den Längenabschnitt 11a schließt der Bund 13 an. Der axiale Abstand des Bundes 13 entspricht der Dicke der Kurvenscheibe 8, die er beiderseits der Flanken 39, 40 der Leitkurven 10 hintergreift und so den Transportbolzen 11 in axialer Richtung festlegt. Gleichzeitig ist auf diese Weise das Formsegment 5 derart an den Transportmechanismus 30 gebunden, daß es nur ebene Bewegungen auf der Kurvenscheibe 8 ausführen kann.

Der Bund 13 gleitet auf einer axialen Ringfläche auf einer Aussparung 31, die zwischen der Kurvenscheibe 8 und der Zugscheibe 7 in der Kurvenscheibe 8, beiderseits der Leitkurve 10 mit der Bunddicke entsprechender Tiefe ausgebildet ist.

Eine Einstecköffnung 29 ermöglicht es, daß einzelne Formsegmente 5 in der Ausformposition B einfach von dem Transportmechanismus 30 abgenommen werden können, ohne daß dieser teilweise demontiert, d. h. die Kurvenscheibe 8 abgeschraubt und gelöst werden muß.

Wie in Figur 2 gezeigt, ist diese Einstecköffnung jeweils am radial außenliegenden Ende der Leitkurven 10 in einer Gestalt und Größe ausgeführt, die ein Einstecken des Bundes 13 in die Leitkurve 10 gestatten.

Im Unterschied zu dem Längenabschnitt 11a und dem Bund 13, die als Führungselemente mit der Kurvenscheibe 8 zusammenwirken, ragt der freie Längenabschnitt 11b des Transportbolzens 11 in den Zugschlitz 9 der Zugscheibe 7. Sein Durchmesser ist ebenfalls gleich der Breite des Zugschlitzes 9, allerdings läuft der Längenabschnitt 11b mit geringfügigem Spiel im Schlitz 9.

Bei Betätigung des Transportmechanismus 30, also bei einer Verdrehung der Zugscheibe 7, liegt der Längenabschnitt 11b an der entsprechenden Flanke 39, 40 an, die auf diesen zunächst eine Kraft in Drehrichtung ausübt und in diese Richtung mitnehmen möchte. Da der Transportbolzen 11 jedoch mit seinem Längenabschnitt 11a in der Leitkurve 10 der ortsfest montierten Kurvenscheibe 8 geführt wird und daher nicht der Mitnahmebewegung der Zugscheibe 8 folgen kann, sondern seine Bewegung auf den Verlauf der Leitkurve 10 beschränkt ist, gleitet der Transportbolzen 11, und mit ihm das Formsegment 5, unter Wirkung gleichgerichteter Kraftkomponenten entlang der Leitkurve 10. Die antreibende Kraft ist die aufgrund der Zugscheibendrehung 41, 42 von den Zugschlitzflanken 39, 40 auf den Transportbolzenlängenabschnitt 11b ausgeübte Kraftkomponente in radialer Richtung. Diese radiale Komponente ist Dank der spiralförmigen Geometrie der Zugschlitz 9 über den gesamten Verschiebebereich 38 zwischen geschlossener Position A und Ausformposition B vorhanden.

Als zentrales Merkmal der Erfindung, ist für jedes Schaufelzwischenraum-Formsegment 5 zusätzlich zu den Transportbolzen 11 ein Führungsbolzen 12 vorgesehen, welcher in Verschieberichtung des Formsegments 5 der Nabe 28 zugewandt in einem Abstand 43 zum Transportbolzen 11 am Formsegment 5 vorgese-

hen ist (Figur 1). Der Führungsbolzen 12 ragt also mit seinem freien Ende in dieselbe Leitkurve 10, wie der Transportbolzen 11 und erfährt durch sie eine Führung. Die Anordnung mit einem Abstand 43 zwischen dem Transportbolzen 11 und dem Führungsbolzen 12 ermöglicht es, zusammen mit der oben beschriebenen Linienberührung zwischen Förderbolzen 12 und Leitkurve 10, der Verschiebebewegung des Formsegments 5 eine Drehbewegung zu überlagern.

Für das Wesen der Erfindung ist es nicht zwingend notwendig, den Führungsbolzen 12 auf der der Werkzeugnabe zugewandten Seite des Transportbolzens 11 anzuordnen. Der Transportbolzen 11 und der Führungsbolzen 12 können ebenso in ihrer Anordnung am Segment 5 gegeneinander vertauscht werden.

Wesentlich dagegen ist eine exakte gegenseitige Abstimmung des Abstands 43 mit der Lage des Wendepunktes 44 der Leitkurve 10 und der von diesen beiden gebildeten Zweipunktführung auf die geometrischen Abmessungen der Schaufelzwischenraum-Formsegmente 5. Hierbei wird die Kinematik des Ausformens durch die zwei Vorgaben bestimmt, zu Beginn der Ausformbewegung, die Formsegmente 5 im Nabenbereich exakt auszulösen und herauszuführen, andererseits, wenn ausreichend Spiel im Frontbereich der Formsegmente 5 geschaffen ist, diese zueinander freizustellen.

Die erfindungsgemäß vom Formsegment 5 ausgeführte Ausformbewegung ist durch den Verlauf der Leitkurve 10 vorgegeben. Die jeweils eindimensionale Führung des Transportbolzens 11 und des Führungsbolzens 12 und der zwischen beiden liegende Abstand 43 ermöglicht es, daß beide Bolzen 11, 12 zum selben Zeitpunkt bzw. an einer bestimmten Position des Formsegments 5 auf der Kurvenscheibe 8, jeweils an verschiedenen Stellen der Leitkurve 10 anliegen und daher voneinander verschiedene Kurvenabschnitte durchlaufen.

Der Verlauf der Leitkurve 10 ist zusammengesetzt aus dem Krümmungsverlauf der archimedischen Spirale der Schaufelfußlinie 27 mit un stetigem Krümmungsverlauf. Im umfangsnahen Bereich wird über einem Wendepunkt 44 die Krümmung geändert. Die Überlagerung mehrerer Bahnverläufe zu der endgültig vorgesehenen erfindungsgemäßen Leitkurve 10, ist wegen der Gestaltung der Schaufelzwischenraum-Formsegmente 5 notwendig. Zwar wäre für ein Auseinanderfahren und Zusammenführen der erfindungsgemäß gestalteten Segmentfüße 14 eine Führung entsprechend der Schaufelfußlinie 27 ausreichend, jedoch ist es die auf den Segmentfüßen angeformten Schaufelkonturformteile 15 zwingend notwendig, die Segmente 5 zusätzlich zu verdrehen, um diese in einer ebenen Bewegung aus den aufwendig gestalteten Schaufelzwischenräumen herauswinden zu können.

Die Erfindung wurde exemplarisch anhand einzelner Segmente 5 und Kurven 10 beschrieben, tatsächlich führen alle Formsegmente 5 synchron und symmetrisch die gleiche Bewegung aus, so daß mit Hilfe des erfindungsgemäßen Transportmechanismus 30

alle Schaufelzwischenraum-Formsegmente 5 des Wachsmodells des Radialverdichterrades 20 in einem Arbeitsgang durch eine einzige Verdrehung der Zugscheibe 7 entformt werden können.

Durch den gleichermaßen einfachen wie exakten Ausformvorgang der Schaufelzwischenräume mit einem bloßen Verdrehen der Zugscheibe 7, kann mit Hilfe des erfindungsgemäßen Werkzeugs das Guß- oder Spritzverfahren zur Herstellung von Wachsmodellen erforderlichenfalls automatisiert werden. Bei entsprechendem automatisierten Zusammenführen der losen Formteile 2, 3, 4 für das Modell und einem geeigneten Entnahme- bzw. Auswurfmechanismus ist ferner eine kostengünstige Serienfertigung von Modellen möglich.

Darüberhinaus ist das Werkzeug 1 nicht ausschließlich zur Herstellung von Wachs-, oder ähnliche Modellkörper beschränkt, sondern kann bei entsprechender Materialauswahl und gießtechnischer Anspannungen ebenso direkt als Guß- oder Spritzgußform für metallische Materialien verwendet werden.

#### BEZUGSZEICHENLISTE

1	Werkzeug	
2	Gegenplatte, rückseitige Nabenkontur	
3	Fixiererring	
4	geteilter Formring	
5	Schaufelzwischenraum-Formsegment	
6	Trägerplatte	
7	Zugscheibe (Antrieb)	
8	Kurvenscheibe (Führung)	
9	Nut	
10	Leitkurve	
10a	Leitkurvenbereich, erster	
10b	Leitkurvenbereich, zweiter	
11	Transportbolzen	
12	Führungsbolzen	
13	Bund	
15	Schaufelkonturformteil	
16	Schaufelkonturformteil	
17	Anschlagbolzen	
18	Einspritzbohrung	
19	Nabe	
20	Radialverdichterrad	
21	Splitterschaufel	
22	Vollschaufel	
23	Schaufelzwischenraum	
24	Winkel	
25	Austrittskante	
26	Eintrittskante	
27	Schaufelfußlinie	
28	Nabenöffnung	
29	Einstecköffnung	
30	Transportmechanismus	
31	Aussparung	
32	Rand	
33	Handhabungsteil	
34	Seitenfläche	
35	Seitenfläche	

36	radiale Seitenfläche
37	radiale Seitenfläche
38	Drehwinkel
39	Flanke
40	Flanke
41	Drehrichtung
42	Drehrichtung
43	Abstand
44	Wendepunkt
45	Leitkurvenbereich
50	Spannfläche
52	Spannfläche
54	Achse

#### 15 Patentansprüche

1. Werkzeug für die Herstellung eines Schaufelrades einer Strömungsmaschine mit gekrümmten Schaufeln, insbesondere eines Radial-Verdichterrades mit räumlich gekrümmten Schaufeln, mit im wesentlichen einem ersten Satz loser Formteile zur Darstellung der Schaufelradaußenkontur; einem zweiten Satz auf einem Transportmechanismus verschiebbar festgelegter Formsegmente zur Darstellung der Schaufelgeometrie, wobei der Transportmechanismus auf einer gemeinsamen Achse übereinander angeordnet umfaßt:

- 20
- eine Trägerplatte,
  - eine mit der Trägerplatte um die gemeinsame Achse drehbar verbundene Zugscheibe, bei welcher zumindest über einen Bereich der Scheibenfläche vom Scheibenmittelpunkt spiralförmig nach außen verlaufende Transportmittel ausgebildet sind,
  - eine Kurvenscheibe, welche drehfest mit der Trägerplatte verbunden ist und in Richtung vom Scheibenmittelpunkt zum Scheibenumfang hin verlaufende Führungskurven aufweist; und

bei dem jedes Formsegment einen Segmentfuß und ein Schaufelkonturformteil umfaßt, sowie ein Mitnehmerelement aufweist, welches gleichzeitig in einer Führungskurve läuft und durch die Führungsscheibe hindurchragend mit Transportmitteln der Zugscheibe in Eingriff steht, und wobei Transportmittel und Führungskurven zusammenwirkend die Bewegung der Formsegmente vorgeben, dadurch gekennzeichnet, daß der Verlauf der Segmentfußseitenflächen (34, 35) gleich der Schaufelfußlinie (27) der Schaufeln (21, 22) ist, daß der Verlauf der Leitkurven (10) aus zwei oder mehreren unterschiedlichen Kurvenverläufen zusammengesetzt ist, wobei der Krümmungsverlauf der Leitkurve (10) mindestens über einem Wendepunkt (44) sein Vorzeichen ändert, daß jedes Formsegment (5) bezüglich der Längs-

- richtung der Leitkurve (10) im Abstand (43) zu dem Mitnehmerelement (11) ein zusätzliches Führungselement (12) aufweist, und daß ein Element (11, 12) durch einen ersten Kurvenverlauf und das andere Element (11, 12) durch einen zweiten Kurvenverlauf geführt ist. 5
2. Werkzeug nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Wendepunkt (44) den Verlauf der Leitkurve (10) in einen ersten Bereich (10a) und einen zweiten Bereich (10b) unterteilt, wobei im ersten Bereich (10a), dessen radialer Abstand kleiner dem radialen Abstand Abstand des radial außenliegenden Elementes (11, 12) ist, die Krümmung der Führungskurve (10) gleich der Schaufelfußkrümmung 10 ist, während im zweiten Bereich (10b), die Krümmung der Führungskurve (10) das jeweils entgegengesetzte Vorzeichen besitzt. 15
3. Werkzeug nach Anspruch 1, bei dem die Transportmittel in Form von Nuten in der Zugscheibe ausgebildet sind, dadurch gekennzeichnet, daß das Führungselement (12) als Paß-Bolzen (12) ausgebildet ist, welcher in das Formsegment (5) eingeschraubt ist, wobei sein überstehender Teil 1 kürzer dimensioniert ist als die Dicke der Kurvenscheibe (8). 20 25
4. Werkzeug nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Mitnehmerelement (11) als Transportbolzen (11) ausgebildet ist, welcher in axialer Richtung zwei Passungsabschnitte (11a, 11b) aufweist, welche durch einen Bund (13) voneinander getrennt sind. 30 35
5. Werkzeug nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Kurvenscheibe (8) zumindest im Verschiebereich des Transportbolzens (11) auf der der Zugscheibe (7) zugewandten Seite, beiderseits entlang der Führungskurve (10) eine Aussparung (31) 40 aufweist, deren Tiefe mindestens der axialen Dicke des Bunds (13) entspricht und deren Breitenausdehnung größer ist als der Durchmesser des Bunds (13). 45
6. Werkzeug nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß auf der der Zugscheibe (7) abgewandten Fläche der Kurvenscheibe (8) am radial äußeren Ende der Leitkurven (10) jeweils eine Einstecköffnung (29) für den Transportbolzen 11 ausgebildet ist. 50
7. Werkzeug nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der radiale Abstand des radial innenliegenden Endes der Leitkurven (10) kleiner ist, als der radiale Abstand des radial innenliegenden Führungselements (12). 55
8. Werkzeug nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Werkzeug (1) zur Herstellung von gießtechnischen Modellkörpern verwendet wird.
9. Werkzeug nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Werkzeug (1) zur gießtechnischen Herstellung von metallischen Gußstücken verwendet wird.



