



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH

709 040 A2

(51) Int. Cl.: F01D 5/30 (2006.01)

## Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

## (12) PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 01943/14

(22) Anmeldedatum: 15.12.2014

(43) Anmeldung veröffentlicht: 30.06.2015

(30) Priorität: 17.12.2013 US 14/109,526

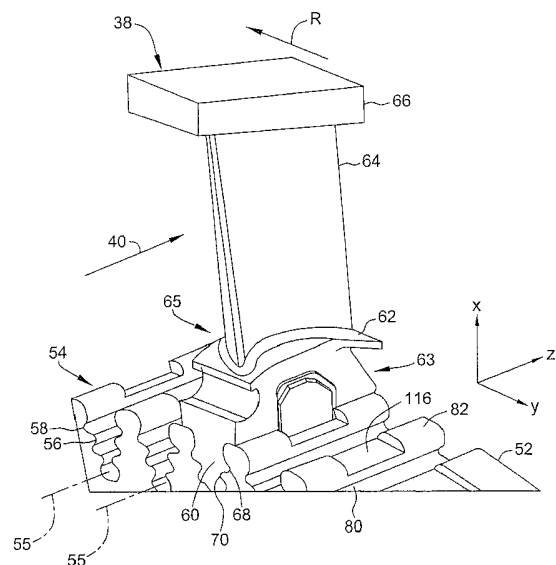
(71) Anmelder:  
General Electric Company, 1 River Road  
Schenectady, New York 12345 (US)

(72) Erfinder:  
Robert Edward Deallenbach,  
Greenville, South Carolina 29607 (US)  
Ravichandran Pazhur Nair,  
Glenville, New York 12302 (US)  
Douglas Arthur Lupe, Ballston Spa, New York 12020 (US)

(74) Vertreter:  
R.A. Egli & Co, Patentanwälte, Baarerstrasse 14  
6300 Zug (CH)

### (54) Laufradanordnung mit Sicherung axial eingeführter Laufschaufeln an einem Laufrad.

(57) Eine Laufradanordnung weist ein Laufrad (52) mit mehreren Schwalbenschwanzschlitzen (54) auf, die in Umfangsrichtung um eine Umfangsfläche des Laufrads (52) beabstandet sind. Das Laufrad (52) weist auch mehrere Aussparungen (80) auf, die in der Umfangsfläche ausgebildet sind. Die Laufradanordnung weist wenigstens eine Laufschaufel (38) mit einer einteiligen Abdeckung (66), einem Schaufelblatt (64), einem Schwalbenschwanz (60) und einer Plattform (62) mit einer ersten Fläche und einer gegenüberliegenden zweiten Fläche auf. Die erste Fläche der Plattform (62) weist eine Keilnut auf. Die Keilnut weist eine gegenüberliegende verjüngte Fläche auf, die unter einem ersten Winkel bezogen auf die erste Fläche der Plattform (62) ausgerichtet ist. Die Laufradanordnung weist ferner einen Feststellkeil mit einer ersten Fläche, die im Wesentlichen parallel zu der ersten Fläche der Plattform (62) ausgerichtet ist, und einer gegenüberliegenden zweiten Fläche auf, die unter dem ersten Winkel bezogen auf die erste Fläche ausgerichtet ist, so dass die zweite Fläche im Wesentlichen parallel zu der verjüngten Fläche verläuft.



**Beschreibung****HINTERGRUND DER ERFINDUNG**

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein Turbinen und insbesondere Systeme und Verfahren zur Verwendung bei der Sicherung von Laufschaufeln an einer Turbinenlaufradanordnung.

[0002] Bei zumindest einigen bekannten Turbinen, beispielsweise Gasturbinen und Dampfturbinen, werden axial eingeführte Laufschaufeln verwendet, d.h. Rotorschaukeln, die mit einem Laufrad gekoppelt werden, indem die Laufschaufeln im Wesentlichen parallel zu der Rotorachse in passende Schwalbenschwanzschlitze geschoben werden, die an dem Laufrad definiert sind. Einige bekannte Laufschaufeln weisen radial nach innen ragende Schwalbenschwänze auf, die in Schwalbenschwanzschlitze passen, die an dem Laufrad ausgebildet sind. Die Laufrad-Schwalbenschwanzschlitze sind in Umfangsrichtung um den Umfang des Laufrads herum voneinander beabstandet.

[0003] Bei einigen bekannten Turbinen können auch einteilige Abdeckungen zwischen in Umfangsrichtung benachbarten Laufschaufeln verlaufen, damit die Reaktion der Laufschaufeln auf Schwingungen abgeschwächt wird und die Eigenfrequenzen der Laufschaufeln erhöht werden. Die Laufschaufeln weisen jeweils eine Eigenfrequenz auf, bei der sie bei Anregung mitschwingen. Wenn Laufschaufeln mitschwingen, können die Beanspruchungen in den Laufschaufeln zunehmen und abnehmen. Im Laufe der Zeit können diese schwingenden Beanspruchungen bewirken, dass die Laufschaufeln aufgrund einer Materialermüdung versagen. Die Stärke der schwingenden Beanspruchungen in den Laufschaufeln kann verringert werden, und die Lebensdauer der Laufschaufeln kann verlängert werden, wenn die Eigenfrequenzen erhöht werden und/oder die Schwingungsreaktion dieser Teile abgeschwächt wird. Es kann jedoch wünschenswert sein, dass die Laufschaufeln an den Laufschaufelplattformen in Umfangsrichtung eng verbunden werden, um die Eigenfrequenzen der Laufschaufeln zu erhöhen, um dynamische Beanspruchungen in dem Schwalbenschwanz zu reduzieren und um eine Erfassung genauer Daten aus Schwingungsversuchen im ruhenden montierten Zustand zwecks Feinabstimmung und Frequenzüberprüfung zu ermöglichen.

[0004] In zumindest einigen bekannten Turbinen, bei denen Laufschaufeln mit einteiligen Abdeckungen verwendet werden, können die Laufschaufeln in den Schwalbenschwanzschlitzen unter Verwendung von Keilen gesichert werden, die in Nuten in dem Aussenumfang des Laufrads und Vertiefungen in den Seiten der Laufschaufeln angeordnet werden. Unter Verwendung eines Schwalbenschwanzsegmentes, das Schwalbenschwänze aufweist, die im Wesentlichen einander gegenüberliegend verlaufen, kann eine Abschlusslaufschaufel an dem Laufrad gesichert werden. Das Laufrad kann einen herkömmlichen Schwalbenschwanzschlitz aufweisen, der das Schwalbenschwanzsegment aufnimmt. Die Abschlusslaufschaufel kann jedoch statt eines Schwalbenschwanzes einen Schwalbenschwanzschlitz aufweisen, der einen Schwalbenschwanz des Schwalbenschwanzsegmentes aufnimmt. Wenn jedoch die Laufschaufeln unter Verwendung des Schwalbenschwanzsystems an dem Laufrad gekoppelt werden, kann es sein, dass die einteiligen Abdeckungen der ersten und der vorletzten montierten Laufschaufel ein Einführen der Abschlusslaufschaufel verhindern. Infolgedessen können in zumindest einigen bekannten Turbinen keine Keile verwendet werden, da zumindest einige der Laufschaufeln während des Einführens der Abschlusslaufschaufel axial bewegt werden müssen.

[0005] In derartigen bekannten Turbinen können Verriegelungsvorrichtungen verwendet werden, damit die Laufschaufeln daran gehindert werden, sich nach der Montage axial an dem Laufrad zu verschieben. Die Verriegelungsvorrichtungen können in Kanäle eingeführt werden, die an der Unterseite der Schwalbenschwänze ausgebildet sind. Vor dem Einführen der Abschlusslaufschaufel können die Verriegelungsvorrichtungen entriegelt werden, damit Laufschaufeln angrenzend an die Abschlusslaufschaufel wahlweise auseinanderbewegt werden können. Nachdem die Abschlusslaufschaufel in das Laufrad eingeführt ist, können die Verriegelungsvorrichtungen wiederverriegelt werden, damit verhindert wird, dass sich die Laufschaufeln axial auf dem Laufrad bewegen. Die Verwendung von Verriegelungsvorrichtungen lässt jedoch die mit derartigen Turbinen zusammenhängenden Kosten steigen und kann auch Betriebsbeanspruchungen erhöhen, die an der Laufradanordnung hervorgerufen werden. Derartige Verriegelungsvorrichtungen ermöglichen zudem keine enge Verbindung an den Laufschaufelplattformen in Umfangsrichtung zur Erhöhung der Eigenfrequenz der Laufschaufeln und/oder zur Verringerung von dynamischen Beanspruchungen in dem Schwalbenschwanz.

**KURZE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG**

[0006] In einem Aspekt ist eine Laufradanordnung bereitgestellt. Die Laufradanordnung weist ein Laufrad mit mehreren Schwalbenschwanzschlitzen auf, die in Umfangsrichtung um eine Umfangsfläche des Laufrads beabstandet sind. Das Laufrad weist auch mehrere Aussparungen auf, die in der Umfangsfläche ausgebildet sind. Die Laufradanordnung weist zusätzlich wenigstens eine Laufschaufel mit einer einteiligen Abdeckung, einem Schaufelblatt, einem Schwalbenschwanz und einer Plattform auf. Die Plattform weist eine erste Fläche und eine gegenüberliegende zweite Fläche auf. Die erste Fläche weist eine darin ausgebildete Keilnut auf. Die Keilnut weist eine gegenüberliegende verjüngte Fläche auf, die unter einem ersten Winkel bezogen auf die erste Fläche der Plattform ausgerichtet ist. Die Laufradanordnung weist ferner einen Feststellkeil mit einer ersten Fläche, die im Wesentlichen parallel zur ersten Fläche der Plattform ausgerichtet ist, und einer gegenüberliegenden zweiten Fläche auf, die unter dem ersten Winkel bezogen auf die erste Fläche ausgerichtet ist, so dass die zweite Fläche im Wesentlichen parallel zu der verjüngten Fläche verläuft.

**[0007]** In der zuvor erwähnten Laufradanordnung kann jede von den mehreren Aussparungen eine axiale Länge aufweisen, die ungefähr gleich einer axialen Länge der Keilnut ist.

**[0008]** Zusätzlich oder alternativ kann das Laufrad eine Drehachse aufweisen und die mehreren Schwalbenschwanzschlitze können axiale Schwalbenschwanzeinführschlitze umfassen, so dass jeder Schwalbenschwanzschlitz im Wesentlichen parallel zu der Drehachse verläuft.

**[0009]** In der Laufradanordnung einer beliebigen zuvor erwähnten Art kann der Feststellkeil eine axiale Breite aufweisen, die so bemessen ist, dass ermöglicht wird, dass der Feststellkeil verschiebbar in die Keilnut eingreift.

**[0010]** Der Feststellkeil kann zusätzlich so eingerichtet sein, dass er gleichzeitig verschiebbar in die Keilnut und eine von den mehreren Aussparungen eingreift.

**[0011]** In der Laufradanordnung einer beliebigen zuvor erwähnten Art kann ein Wert des ersten Winkels zwischen ungefähr  $1^\circ$  und ungefähr  $15^\circ$  liegen.

**[0012]** In einem weiteren Aspekt ist eine Turbine bereitgestellt. Die Turbine weist eine drehbare Welle mit einer Drehachse auf. Die Turbine weist auch ein Gehäuse auf, das sich in Umfangsrichtung um die drehbare Welle herum erstreckt. Das Gehäuse definiert zumindest einen Durchgang, der so eingerichtet ist, dass er ein Arbeitsfluid entlang einer Länge der drehbaren Welle leitet. Die Turbine weist ferner eine Laufradanordnung auf, die an einem Abschnitt der drehbaren Welle befestigt ist, damit sie sich mit dieser gemeinsam dreht. Die Laufradanordnung ist so eingerichtet, dass sie das Arbeitsfluid expandiert. Die Laufradanordnung weist ein Laufrad mit mehreren Schwalbenschwanzschlitzen auf, die in Umfangsrichtung um einen Umfang des Laufrads herum voneinander beabstandet sind. Das Laufrad weist auch mehrere Aussparungen auf, die in der Umfangsfläche ausgebildet sind. Die Laufradanordnung weist ferner mehrere Laufschaufeln auf, die in einer Umfangsanordnung um die Drehachse angeordnet sind. Jede der Laufschaufeln weist einen Schwalbenschwanz, der so eingerichtet ist, dass er an einem jeweiligen von den mehreren Schwalbenschwanzschlitzen zu befestigen ist, eine Plattform, ein Schaufelblatt und eine einteilige Abdeckung auf, die einteilig mit der Laufschaufel ausgebildet ist. Die Plattform weist eine erste Fläche und eine gegenüberliegende zweite Fläche auf. Die erste Fläche weist eine darin ausgebildete Keilnut auf. Die Keilnut weist eine gegenüberliegende verjüngte Fläche auf, die unter einem ersten Winkel bezogen auf die erste Fläche der Plattform ausgerichtet ist. Die Laufradanordnung weist ferner einen Feststellkeil mit einer ersten Fläche, die im Wesentlichen parallel zu der ersten Fläche der Plattform ausgerichtet ist, und einer gegenüberliegenden zweiten Fläche auf, die unter dem ersten Winkel bezogen auf die erste Fläche ausgerichtet ist, so dass die zweite Fläche im Wesentlichen parallel zu der verjüngten Fläche verläuft.

**[0013]** In der zuvor erwähnten Turbine können die mehreren Schwalbenschwanzschlitze unter einem zweiten Winkel bezogen auf die Drehachse ausgerichtet sein.

**[0014]** Die mehreren Schwalbenschwanzschlitze können zusätzlich axiale Schwalbenschwanzeinführschlitze umfassen, so dass der zweite Winkel ungefähr  $0^\circ$  beträgt.

**[0015]** In einer Ausführungsform der Turbine einer beliebigen zuvor erwähnten Art kann die zweite Fläche des Feststellkeils eingerichtet sein, um mit der verjüngten Fläche einer jeweiligen einzelnen von den mehreren Laufschaufeln in Eingriff zu stehen, und eine untere Fläche des Feststellkeils kann eingerichtet sein, um gleichzeitig mit einer unteren Fläche einer jeweiligen einzelnen von den mehreren Aussparungen in Eingriff zu stehen, so dass sich eine benachbarte Laufschaufel von den mehreren Laufschaufeln mit einem jeweiligen einzelnen benachbarten von den mehreren Schwalbenschwanzschlitzen verbinden lässt.

**[0016]** In einer weiteren Ausführungsform kann die zweite Fläche des Feststellkeils eingerichtet sein, um in die verjüngte Fläche einer jeweiligen einzelnen von den mehreren Laufschaufeln einzugreifen, und die erste Fläche des Feststellkeils kann eingerichtet sein, um gegen die zweite Fläche einer jeweiligen einzelnen benachbarten von den mehreren Laufschaufeln zu passen.

**[0017]** In der zuletzt erwähnten Ausführungsform kann der erste Winkel so eingerichtet sein, dass er eine Sicherungsschräge zwischen dem Feststellkeil und einer jeweiligen einzelnen von den mehreren Laufschaufeln ermöglicht, so dass die Plattform einer jeweiligen einzelnen von den mehreren Laufschaufeln mit der Plattform einer jeweiligen einzelnen benachbarten von den mehreren Laufschaufeln verbunden werden kann, um die Erhöhung einer Eigenfrequenz der jeweiligen Laufschaufeln zu ermöglichen.

**[0018]** Zusätzlich kann ein Wert des ersten Winkels zwischen ungefähr  $1^\circ$  und ungefähr  $15^\circ$  liegen.

**[0019]** In der Turbine einer beliebigen zuvor erwähnten Art kann der Feststellkeil so eingerichtet sein, dass er gleichzeitig verschiebbar in eine der Keilnuten und eine der mehreren Aussparungen eingreift.

**[0020]** In noch einem weiteren Aspekt ist ein Verfahren zum Montieren einer Laufradanordnung bereitgestellt. Die Laufradanordnung weist mehrere Laufschaufeln und ein Laufrad mit mehreren Schwalbenschwanzschlitzen auf, die in Umfangsrichtung um einen Umfang des Laufrads herum voneinander beabstandet sind. Jede Laufschaufel weist einen Schwalbenschwanz, eine Plattform, ein Schaufelblatt und eine einteilige Abdeckung auf. Das Verfahren umfasst ein Verbinden einer ersten Laufschaufel mit dem Laufrad, einschliesslich eines Einführens des Schwalbenschwanzes der ersten Laufschaufel in einen ersten Schwalbenschwanzschlitz. Das Verfahren umfasst auch ein Sichern der ersten Laufschaufel an dem Laufrad unter Verwendung eines Feststellkeils. Das Verfahren umfasst zusätzlich ein Verbinden einer zweiten Laufschaufel

mit dem Laufrad, wozu ein Einführen des Schwalbenschwanzes der zweiten Laufschaufel in einen zweiten Schwalbenschwanzschlitz benachbart zu dem ersten Schwalbenschwanzschlitz in der Nähe des Feststellkeils gehört. Das Verfahren umfasst ferner ein Drehen der Laufradanordnung bis zu einer Betriebsdrehzahl. Das Verfahren umfasst auch ein Verbinden der ersten Laufschaufel mit der zweiten Laufschaufel unter Verwendung des Feststellkeils, wobei eine Reibkontaktkraft zwischen der ersten Laufschaufel und dem Feststellkeil und zwischen der zweiten Laufschaufel und dem Feststellkeil erzeugt wird.

**[0021]** In dem zuvor erwähnten Verfahren kann das Sichern der ersten Laufschaufel an dem Laufrad unter Verwendung eines Feststellkeils ein Einführen des Feststellkeils in eine Keilnut umfassen, die in der Plattform der ersten Laufschaufel ausgebildet ist.

**[0022]** Die Plattform der ersten Laufschaufel kann ferner eine erste Fläche aufweisen, wobei in der ersten Fläche die Keilnut ausgebildet ist, wobei die Keilnut eine gegenüberliegende verjüngte Fläche aufweisen kann, die unter einem ersten Winkel bezogen auf die erste Fläche ausgerichtet ist.

**[0023]** Des Weiteren umfasst das Verbinden der ersten Laufschaufel mit der zweiten Laufschaufel ein Verwenden eines Feststellkeils mit einer ersten Fläche, die im Wesentlichen parallel zu der ersten Fläche der Plattform verläuft, und einer zweiten Fläche, die im Wesentlichen parallel zu der gegenüberliegenden verjüngten Fläche verläuft.

**[0024]** In dem Verfahren einer beliebigen zuvor erwähnten Art kann das Verbinden der ersten Laufschaufel mit der zweiten Laufschaufel ein Verbinden der Plattform der ersten Laufschaufel mit der Plattform der zweiten Laufschaufel zwecks Ermöglichung einer Erhöhung einer Eigenfrequenz der ersten Laufschaufel und der zweiten Laufschaufel umfassen.

**[0025]** Das Verfahren jeder beliebigen zuvor erwähnten Art kann ferner ein Verlangsamen der Laufradanordnung aus der Betriebsdrehzahl in einen Ruhezustand und Erfassen von Schwingungsversuchsdaten im ruhenden Zustand an der Laufradanordnung zur Verwendung bei der Feinabstimmung und Frequenzüberprüfung umfassen.

## KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

### [0026]

- FIG. 1 ist eine vereinfachte Darstellung einer beispielhaften Dampfturbine;
- FIG. 2 ist eine perspektivische Ansicht eines Abschnitts einer beispielhaften Laufradanordnung, die bei der in FIG. 1 dargestellten Dampfturbine verwendet werden kann;
- FIG. 3 ist eine Teil- und Seitenansicht der Laufradanordnung der in FIG. 1 dargestellten Dampfturbine, mit Blick im Wesentlichen senkrecht zur X-Z-Ebene;
- FIG. 4 ist eine Teil- und Seitenansicht einer beispielhaften Laufschaufel, die bei der in FIG. 2 dargestellten Laufradanordnung verwendet werden kann, mit Blick im Wesentlichen senkrecht zur X-Z-Ebene;
- FIG. 5 ist eine Schnittdarstellung der Laufschaufel entlang der Schnittlinie 5–5, die in FIG. 4 dargestellt ist;
- FIG. 6 ist eine Seitenansicht eines beispielhaften Feststellkeils, der bei der in FIG. 2 dargestellten Laufradanordnung verwendet werden kann;
- FIG. 7 ist eine Endansicht des in FIG. 6 dargestellten Feststellkeils;
- FIG. 8 ist eine Teilschnittdarstellung der in FIG. 2 dargestellten Laufradanordnung, in der der zwischen einem Paar Laufschaufeln eingeführte Feststellkeil während der Montage der Laufradanordnung dargestellt ist; und
- FIG. 9 ist eine Teilschnittdarstellung der in FIG. 2 dargestellten Laufradanordnung, in der der Feststellkeil zwischen einem Paar Laufschaufeln nach dem Drehen der Laufradanordnung bis zur Betriebsdrehzahl dargestellt ist.

## DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

**[0027]** Die Begriffe «axial» und «in Axialrichtung» beziehen sich in dem hier verwendeten Sinne auf Richtungen und Ausrichtungen, die im Wesentlichen parallel zu einer Längsachse einer Turbine verlaufen. Darüber hinaus beziehen sich die Begriffe «radial» und «in Radialrichtung» auf Richtungen und Ausrichtungen, die im Wesentlichen senkrecht zu der Längsachse der Turbine verlaufen. Zusätzlich beziehen sich die Begriffe «Umfangs-» und «in Umfangsrichtung» auf Richtungen und Ausrichtungen, die bogenförmig um die Längsachse der Turbine verlaufen.

**[0028]** FIG. 1 ist eine vereinfachte Darstellung einer beispielhaften Dampfturbine 10. FIG. 1 beschreibt zwar eine beispielhafte Dampfturbine, jedoch sollte festgehalten werden, dass die hier beschriebenen Laufschaufelverteilungssysteme und -verfahren nicht auf eine bestimmte Art von Turbine beschränkt sind. Ein Durchschnittsfachmann sollte erkennen, dass die hier beschriebenen gegenwärtigen Laufschaufelverteilungssysteme und -verfahren bei jeder beliebigen rotierenden Maschine, einschliesslich einer Gasturbine, in jeder beliebigen Konfiguration verwendet werden können, mit der eine derartige Vorrichtung, ein derartiges System und Verfahren, wie sie hier ausführlicher beschrieben sind, funktionieren können.

**[0029]** In dem Ausführungsbeispiel ist die Dampfturbine 10 eine einflutige Dampfturbine. Alternativ kann es sich bei der Dampfturbine 10 um jede beliebige Art von Dampfturbine handeln, beispielsweise eine Niederdruckturbine, eine Kombination aus einer zweiflutigen Hochdruck- und einer Mitteldruckdampfturbine, eine zweiflutige Dampfturbine und/oder andere Dampfturbinenarten, ohne darauf beschränkt zu sein. Wie zuvor erörtert ist, ist die vorliegende Erfindung ferner nicht darauf beschränkt, nur in Dampfturbinen verwendet zu werden, und sie kann in anderen Turbinensystemen, wie bspw. Gasturbinen, verwendet werden.

**[0030]** In dem in FIG. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel weist die Dampfturbine 10 mehrere Turbinenstufen 12 auf, die mit einer drehbaren Welle 14 gekoppelt sind. Ein Gehäuse 16 ist axial in einen Oberhälftenabschnitt 18 und einen (nicht dargestellten) Unterhälftenabschnitt unterteilt. Der Oberhälftenabschnitt 18 weist einen Hochdruck(HD)-Dampfeinlass 20 und einen Niederdruck(ND)-Dampfauslass 22 auf. Die Welle 14 verläuft durch das Gehäuse 16 entlang einer Mittellinienachse 24 und wird in Lagern gelagert, die sich im Wesentlichen angrenzend an Enddichtungsabschnitten 26 und 28 befinden, die jeweils drehbar mit entgegengesetzten Endabschnitten 30 der Welle 14 verbunden sind. Zwischen den Endabschnitten 30 der drehbaren Welle und dem Gehäuse 16 sind zur einfacheren Abdichtung des Gehäuses 16 um die Welle 14 herum mehrere Dichtelemente 31, 34 und 36 eingebunden.

**[0031]** In dem Ausführungsbeispiel weist die Dampfturbine 10 auch ein Statorbauteil 42 auf, das mit einer Innenhülle 44 des Gehäuses 16 verbunden ist. Mit dem Statorbauteil 42 sind Dichtungselemente 34 verbunden. Das Gehäuse 16, die Innenhülle 44 und das Statorbauteil 42 verlaufen jeweils in Umfangsrichtung um die Welle 14 und die Dichtungselemente 34 herum. In dem Ausführungsbeispiel bilden die Dichtungselemente 34 einen gewundenen Dichtungsweg zwischen dem Statorbauteil 42 und der Welle 14. Die Welle 14 weist mehrere Turbinenstufen 12 auf, durch die über den Dampfkanal 46 ein Dampf 40 mit hohem Druck und hoher Temperatur geleitet wird. Die Turbinenstufen 12 weisen mehrere Einlassleitapparate 48 auf. Die Dampfturbine 10 kann jede beliebige Anzahl von Einlassleitapparaten 48 aufweisen, mit der die Dampfturbine 10 wie hier beschrieben arbeiten kann. Die Dampfturbine 10 kann beispielsweise mehr oder weniger Einlassleitapparate 48 aufweisen, als in FIG. 1 veranschaulicht sind. Die Turbinenstufen 12 weisen auch mehrere Turbinenschaufeln oder Laufschaufeln 38 auf. Die Dampfturbine 10 kann jede beliebige Anzahl von Laufschaufeln 38 aufweisen, mit der die Dampfturbine 10 wie hier beschrieben arbeiten kann. Üblicherweise verläuft der Dampfkanal 46 durch das Gehäuse 16. Der Dampf 40 strömt durch den HD-Dampfeinlass 20 in den Dampfkanal 46 hinein und strömt durch die Turbinenstufen 12 hindurch die Welle 14 entlang.

**[0032]** Während des Betriebs wird der Dampf 40 mit hohem Druck und hoher Temperatur von einer Dampfquelle, wie bspw. einem (nicht dargestellten) Kessel, zu den Turbinenstufen 12 geleitet, wobei Wärmeenergie von den Turbinenstufen 12 in mechanische Rotationsenergie umgewandelt wird. Der Dampf 40 wird insbesondere von dem HD-Dampfeinlass 20 aus durch das Gehäuse 16 geleitet, wo er auf die mehreren Turbinenschaufeln oder Laufschaufeln 38 auftrifft, die mit der Welle 14 verbunden sind, damit eine Drehung der Welle 14 um die Mittellinienachse 24 bewirkt wird. Der Dampf 40 strömt an dem ND-Dampfauslass 22 aus dem Gehäuse 16 heraus. Der Dampf 40 kann dann zu dem (nicht dargestellten) Kessel geleitet werden, wo er erneut erhitzt oder zu anderen Bauteilen des Systems, z.B. einem (nicht dargestellten) Kondensator, geleitet werden kann.

**[0033]** FIG. 2 ist eine perspektivische Ansicht eines Abschnitts einer beispielhaften Laufradanordnung 50, die bei der (in FIG. 1 dargestellten) Dampfturbine 10 verwendet werden kann. In dem Ausführungsbeispiel weist die Laufradanordnung 50 ein Laufrad 52 einschliesslich mehrerer darin definierter axialer Schwalbenschwanzseinführschlitze 54 auf, die um einen Aussenumfang des Laufrads 52 herum im Wesentlichen gleichen Abstand zueinander angeordnet sind. Jeder Schwalbenschwanzschlitz 54 ist im Wesentlichen parallel zu der (in FIG. 1 dargestellten) Mittellinienachse 24 ausgerichtet, wie allgemein durch die Mittellinie 55 angezeigt ist. Die Mittellinienachse 24 entspricht der Drehachse des Laufrads 52. Die Schwalbenschwanzschlitze 54 können in dem Laufrad 52 alternativ unter jedem beliebigen Winkel bezogen auf die Mittellinienachse 24 ausgerichtet sein, mit dem die Dampfturbine 10 wie hier beschrieben funktionieren kann. In dem Ausführungsbeispiel ist jeder Schwalbenschwanzschlitz 54 im Wesentlichen V-förmig und weist eine Reihe von axial verlaufenden Umfangsvorsprüngen 56 und Nuten 58 auf. In dem Ausführungsbeispiel ist jeder Schwalbenschwanzschlitz 54 im Wesentlichen symmetrisch und verläuft von dem Aussenumfang des Laufrads 52 aus radial nach innen.

**[0034]** Wie in FIG. 2 dargestellt ist, dreht sich das Laufrad 52 in die mit dem Pfeil R angegebene Richtung, wenn der Dampf 40 durch die Laufradanordnung 50 strömt. Die Mittellinienachse 24 verläuft im Wesentlichen parallel zu der Z-Achse des (in FIG. 1 dargestellten) Koordinatensystems, wobei die Hauptströmungsrichtung des Dampfs 40 im Wesentlichen entlang der Z-Achse verläuft.

**[0035]** In dem Ausführungsbeispiel weist jede Laufschaufel 38 einen Fussabschnitt oder Schwalbenschwanz 60, eine Plattform 62, ein Schaufelblatt 64 sowie eine einteilige bzw. integrale Abdeckung 66 auf. Unter Bezugnahme auf das Koordinatensystem wird die in Umfangsrichtung vorderste Seite jeder Laufschaufel 38 bezogen auf die Drehrichtung der Laufradanordnung 50 als eine Vorderseite 65 bezeichnet. Die entgegengesetzte Seite jeder Laufschaufel 38 in Umfangsrichtung oder die hinterste Seite bezogen auf die positive Richtung der Y-Achse wird als eine Hinterseite 63 bezeichnet.

**[0036]** In dem Ausführungsbeispiel ist der Schwalbenschwanz 60 mit einer Gestalt ausgebildet, die zu einem jeweiligen Schwalbenschwanzschlitz 54 im Wesentlichen komplementär ist, und jeder weist eine Reihe von axial verlaufenden umfangssetigen Vorsprüngen 68 und Nuten 70 auf, die mit einem jeweiligen Schwalbenschwanzschlitz 54 ineinandergreifen. In dem Ausführungsbeispiel verlaufen der Schwalbenschwanzschlitz 54 und der Schwalbenschwanz 60 jeweils im We-

sentlichen parallel zu der Mittellinienachse 24 der (in FIG. 1 dargestellten) Dampfturbine 10, so dass die Laufschaufeln 38 mit dem Laufrad 52 verbunden werden können, wenn ein Schwalbenschwanz 60 einer jeweiligen Laufschaufel 38 axial in einen jeweiligen Schwalbenschwanzschlitz 54 eingeführt wird. Nach der Montage bilden die Laufschaufeln 38 eine Anordnung aus Laufschaufeln, die sich in Umfangsrichtung um den Aussenumfang des Laufrads 52 erstrecken.

**[0037]** FIG. 3 ist eine Teil- und Seitenansicht der Laufradanordnung 50 der (in FIG. 1 dargestellten) Dampfturbine 10 bei Betrachtung im Wesentlichen senkrecht zur X-Z-Ebene. FIG. 3 zeigt insbesondere eine vergrößerte Teil- und Seitenansicht mit Blick auf die Hinterseite 63 der Laufschaufel 38 und unter Veranschaulichung eines beispielhaften Feststellkeils 72 zur Verwendung beim Feststellen der Laufschaufel 38 an dem Laufrad 52. In dem Ausführungsbeispiel weist die Laufschaufel 38 eine Keilnut 74 auf, die in einer Hinterseitenfläche 76 der Plattform 62 definiert ist. Die Keilnut 74 erstreckt sich unter der Hinterseitenfläche 76 zu einer Keilnutfläche 108. Die Hinterseitenfläche 76 ist bezogen auf das Laufrad 52 in Umfangsrichtung gewandt und verläuft im Wesentlichen parallel zu einer radialen Ebene, die die Mittellinienachse 24 enthält und von dem Laufrad 52 aus radial nach aussen verläuft. In dem Ausführungsbeispiel ist die Keilnut 74 in der Plattform 62 in einer der Z-Achse entsprechenden axialen Richtung im Wesentlichen zentriert und verläuft durch eine untere Fläche 78 der Plattform 62. Das Laufrad 52 weist eine entsprechende Aussparung 80 auf, die in einer Umfangsfläche 82 des Laufrads 52 definiert ist und zwischen jeweiligen Schwalbenschwanzschlitzen 54 verläuft. Die Aussparung 80 ist durch eine untere Fläche 116, einen vorderen Rand 118 und einen hinteren Rand 120 definiert. Die Aussparung 80 ist zu der Umfangsfläche 82 hin offen. Die Aussparung 80 ist ferner im Wesentlichen rechteckig und ist mit der Keilnut 74 im Wesentlichen ausgerichtet, d.h. sowohl die Keilnut 74 als auch die Aussparung 80 weisen eine im Wesentlichen ähnliche Länge in der Richtung der Z-Achse auf.

**[0038]** FIG. 4 ist eine Teil- und Seitenansicht der Laufschaufel 38 der (in FIG. 2 dargestellten) Laufradanordnung 50 mit Blick im Wesentlichen senkrecht zur X-Z-Ebene. In dem Ausführungsbeispiel weist die Keilnut 74 einen vorderen Rand 84 und einen hinteren Rand 86, die jeweils im Wesentlichen senkrecht zu der Mittellinienachse 24 ausgerichtet sind, einen oberen Rand 88, der im Wesentlichen parallel zu der Mittellinienachse 24 verläuft, und einen abgewinkelten Rand 90 auf, der zwischen dem oberen Rand 88 und dem hinteren Rand 86 verläuft. Alternativ weist die Keilnut 74 möglicherweise keinen abgewinkelten Rand 90 auf, so dass der obere Rand 88 zwischen dem vorderen Rand 84 und dem hinteren Rand 86 verläuft. In dem Ausführungsbeispiel ist der abgewinkelte Rand 90 bezogen auf den hinteren Rand 86 unter einem Winkel  $\alpha$  ausgerichtet. Der Winkel  $\alpha$  liegt zwischen ungefähr  $30^\circ$  und ungefähr  $90^\circ$ , wobei bei  $90^\circ$  der abgewinkelte Rand 90, wie zuvor beschrieben, ausgelassen ist. Alternativ kann der Winkel  $\alpha$  unter jedem beliebigen Winkel ausgebildet sein, mit dem die Keilnut 74 wie hier beschrieben funktionieren kann. Der abgewinkelte Rand 90 funktioniert so, dass er es ermöglicht, ein Mittel bereitzustellen um sicherzustellen, dass der Feststellkeil 72 in der richtigen Ausrichtung montiert wird, und um an der Hinterseite 63 der Plattform 62 einen Abstand vorzusehen. Jeder Schnittpunkt der Keilnutränder 84, 86, 88 und 90 ist durch eine gebogene Ecke 92 definiert, mit der sich stark beanspruchte Stellen an der Plattform 62 der Laufschaufel 38 leichter reduzieren lassen. Alternativ kann die Keilnut 74 jede beliebige Form aufweisen, mit der die Keilnut 74 wie hier beschrieben funktionieren kann.

**[0039]** FIG. 5 ist eine Schnittdarstellung der Laufschaufel 38 entlang der Schnittlinie 5–5. In dem Ausführungsbeispiel verläuft die Keilnut 74 durch die Hinterseitenfläche 76 der Plattform 62 zu der Keilnutfläche 108. Die Keilnutfläche 108 verläuft axial entlang der Z-Achse und ist bezogen auf die Hinterseitenfläche 76 unter einem Winkel  $\theta$  zu der Hinterseitenfläche 76 geneigt. Die unter dem Winkel  $\theta$  abgewinkelte Keilnutfläche 108 bildet mit dem Feststellkeil 72 eine Sicherungsschräge. In dem Ausführungsbeispiel liegt der Winkel  $\theta$  zwischen ungefähr  $1^\circ$  und ungefähr  $15^\circ$ . Alternativ kann der Winkel  $\theta$  unter jedem beliebigen Winkel ausgebildet sein, mit dem die Keilnut 74 wie hier beschrieben funktionieren kann.

**[0040]** FIG. 6 ist eine Seitenansicht des Feststellkeils 72 zur Verwendung bei der (in FIG. 2 dargestellten) Laufradanordnung 50. In dem Ausführungsbeispiel ist der Feststellkeil 72 im Wesentlichen komplementär zu der Keilnut 74 geformt, d.h. der Feststellkeil 72 weist einen vorderen Rand 94 und einen hinteren Rand 96, die im Wesentlichen parallel zueinander verlaufen, einen oberen Rand 98 und einen unteren Rand 110, die im Wesentlichen senkrecht zu dem vorderen Rand 94 und dem hinteren Rand 96 ausgerichtet sind, sowie einen abgewinkelten Rand 100 auf, der zwischen dem oberen Rand 98 und dem hinteren Rand 96 verläuft. Alternativ weist der Feststellkeil 72 möglicherweise keinen abgewinkelten Rand 100 auf, so dass der obere Rand 98 zwischen dem vorderen Rand 94 und dem hinteren Rand 96 verläuft. In dem Ausführungsbeispiel ist der abgewinkelte Rand 100 bezogen auf den hinteren Rand 96 unter einem Winkel  $\beta$  ausgebildet. Der Winkel  $\beta$  ist ungefähr derselbe wie der Winkel  $\alpha$  der Keilnut 74 und liegt zwischen ungefähr  $30^\circ$  und ungefähr  $90^\circ$ , wobei bei  $90^\circ$  der abgewinkelte Rand 100, wie zuvor beschrieben, ausgelassen ist. Alternativ kann der Winkel  $\beta$  unter jedem beliebigen Winkel ausgebildet sein, mit dem der Feststellkeil 72 wie hier beschrieben funktionieren kann. In dem Ausführungsbeispiel weist jeder Schnittpunkt der Ränder 94, 96, 98, 100 und 110 eine Fase 102 auf, damit sich der Feststellkeil 72 einfacher verschiebbar mit der Keilnut 74 verbinden lässt. Alternativ kann die Keilnut 74 jede beliebige Form aufweisen, mit der die Keilnut 74 wie hier beschrieben funktionieren kann. In dem Ausführungsbeispiel weist der Feststellkeil 72 eine Breite 104 und eine Höhe 106 auf, die dem Feststellkeil 72 ermöglichen, mit der Keilnut 74 und der Aussparung 80 im Wesentlichen ausgerichtet zu sein, während dem Feststellkeil 72 gestattet ist, sich innerhalb der Keilnut 74 und der Aussparung 80 vertikal zu bewegen.

**[0041]** FIG. 7 zeigt eine Endansicht des Feststellkeils 72. In dem Ausführungsbeispiel weist der Feststellkeil 72 eine Vorderseite 112 und eine Rückseite 114 auf. Die Rückseite 114 ist unter einem Winkel  $\sigma$  bezogen auf die Vorderseite 112 ausgebildet. In dem Ausführungsbeispiel bildet die unter dem Winkel  $\sigma$  abgewinkelte Rückseite 114 eine Sicherungsschräge

mit der Keilnut 74. Der Winkel  $\sigma$  ist an sich ungefähr gleich dem Winkel  $\theta$ . In dem Ausführungsbeispiel liegt der Winkel  $\sigma$  zwischen ungefähr  $1^\circ$  und ungefähr  $15^\circ$ . Alternativ kann der Winkel  $\sigma$  unter jedem beliebigen Winkel ausgebildet sein, mit dem der Feststellkeil 72 wie hier beschrieben funktionieren kann.

**[0042]** FIG. 8 ist eine Teilschnittdarstellung der Laufradanordnung 50, in der der zwischen einem Paar Laufschaufeln 38 eingeführte Feststellkeil 72 während der Montage der Laufradanordnung 50 dargestellt ist. Unter Verweis auf FIG. 2, 3 und 8 ist die Laufschaufel 38 während des Betriebs derart in dem Schwalbenschwanzschlitz 54 des Laufrads 52 eingesetzt, dass die Keilnut 74 mit der Aussparung 80 ausgerichtet ist. Insbesondere sind der vordere Rand 118 der Aussparung 80 und der vordere Rand 84 der Keilnut 74 so ausgerichtet, dass sie bei Betrachtung in der (in FIG. 3 dargestellten) X-Z-Ebene im Wesentlichen kollinear verlaufen. Zusätzlich sind der hintere Rand 120 der Aussparung 80 und der hintere Rand 86 der Keilnut 74 so ausgerichtet, dass sie bei Betrachtung in der X-Z-Ebene im Wesentlichen kollinear verlaufen. Der Feststellkeil 72 steckt zumindest teilweise in der Keilnut 74 der Laufschaufel 38. Der Feststellkeil 72 steckt auch zumindest teilweise in der Aussparung 80 des Laufrads 52. Nach dem Einführen in die Keilnut 74 und die Aussparung 80 ist der Feststellkeil 72 sowohl in der axialen (Z-Achsen-) als auch in der radialen (X-Achsen-) Richtung gefasst, wodurch für eine formschlüssige axiale Sicherung der Laufschaufel 38 an dem Laufrad 52 gesorgt wird. Da jede folgende Laufschaufel 38 in einen jeweiligen Schwalbenschwanzschlitz 54 eingeführt wird, ist der Feststellkeil 72 in der Umfangsrichtung (Y-Achsen-Richtung) gefasst. In dem Ausführungsbeispiel passt die Rückseite 114 des Feststellkeils 72 gegen die entsprechende Keilnutfläche 108 und liegt auf der unteren Fläche 116 der Aussparung 80 auf. Diese Position kann als die radial innere Position des Feststellkeils 72 bezeichnet werden. In der radial inneren Position des Feststellkeils 72 ist ein Spalt 122 zwischen der Vorderseite 112 des Feststellkeils 72 und einer Vorderseitenfläche 124 einer benachbarten Laufschaufel 38 definiert. Der Spalt 122 ermöglicht die Montage der benachbarten Laufschaufel 38.

**[0043]** FIG. 9 ist eine Teilschnittdarstellung der Laufradanordnung 50, in der der zwischen einem Paar Laufschaufeln 38 platzierte Feststellkeil 72 nach einem Drehen der Laufradanordnung 50 bis zur Betriebsdrehzahl dargestellt ist. In dem Ausführungsbeispiel wird der Feststellkeil 72 bedingt durch die Fliehkraft, die während des Drehens der Laufradanordnung 50 mit der Betriebsdrehzahl erzeugt wird, in eine radial äussere Position bewegt. In der radial äusseren Position des Feststellkeils 72 passt die Vorderseite 112 des Feststellkeils 72 gegen die Vorderseitenfläche 124 der benachbarten Laufschaufel 38, wodurch der Spalt 122 beseitigt ist. Die radial äussere Position des Feststellkeils 72 erzeugt eine feste Verbindung zwischen dem Feststellkeil 72 und der Hinterseitenfläche 76 und der Vorderseitenfläche 124 benachbarter Laufschaufeln 38. Der Winkel  $\theta$  der Keilnutfläche 108 und der Ergänzungswinkel  $\sigma$  des Feststellkeils 72 ermöglichen die Bildung einer Sicherungsschräge, wodurch der Feststellkeil 72 in der radial äusseren Position zwischen benachbarten Laufschaufeln 38 sicher gekoppelt ist, wenn sich die Laufradanordnung 50 nicht mehr dreht. Die Sicherungsschräge, die zwischen der Keilnutfläche 108 und dem Feststellkeil 72 ausgebildet ist, erzeugt Reibkontaktkräfte  $F_1$  zwischen der Rückseite 114 des Feststellkeils 72 und der entsprechenden Keilnutfläche 108. Darüber hinaus werden Reibkontaktkräfte  $F_2$  zwischen der Vorderseite 112 des Feststellkeils 72 und der Vorderseitenfläche 124 der benachbarten Laufschaufel 38 erzeugt. Die Reibkontaktkräfte  $F_1$  und  $F_2$  koppeln den Feststellkeil 72 in der radial äusseren Position zwischen benachbarten Laufschaufeln 38. Durch die Kopplung des Feststellkeils 72 in der radial äusseren Position wird ermöglicht, dass die Laufschaufeln 38 in einer radial äusseren Richtung platziert werden, selbst wenn sich die Laufradanordnung 50 im Ruhezustand befindet, so dass die Laufschaufelschwalbenschwänze 60 und die Laufradschwalbenschwanzschlitz 54 eng verbunden bleiben.

**[0044]** Während des Betriebs ermöglicht die Kopplung der Plattformen 62 an benachbarten Laufschaufeln 38 eine Erhöhung der Eigenfrequenzen der Laufschaufeln 38. Die Erhöhung der Eigenfrequenzen der Laufschaufeln 38 unterstützt eine Verringerung dynamischer Beanspruchungen, die in dem Schwalbenschwanz 60 der Laufschaufel 38 erzeugt werden, und ermöglicht die Durchführung von Schwingungsversuchen an der Laufradanordnung 50 im montierten Zustand, während sie sich im Ruhezustand befindet. Wenn Schwingungsversuche im montierten Zustand, während sich die Dampfturbine 10 im Ruhezustand befindet, ermöglicht werden, lassen sich Kosten leichter senken und die Fertigungszykluszeit der Dampfturbine 10 leichter verkürzen, indem kein Radkammer- oder Rotationszellen-Schwingungsversuch durchgeführt werden muss. Durch die Verwendung des Feststellkeils 72 mit integral abgedeckten Laufschaufeln wird leichter ein Zustand ermöglicht, in dem grundlegende Randbedingungen, die bei der Betriebsdrehzahl der Laufradanordnung 50 vorliegen, auch in einem Ruhezustand der Laufradanordnung 50 vorliegen, wodurch Schwingungsversuche im ruhenden, montierten Zustand zwecks Feinabstimmung und Frequenzüberprüfung der Dampfturbine 10 ermöglicht werden.

**[0045]** Die hier beschriebenen Systeme und Verfahren ermöglichen die Verbesserung der Turbinenleistung durch Bereitstellen eines Systems zur Verteilung axial eingeführter Laufschaufeln, das Betriebsbeanspruchungen, die in einer Turbine verursacht werden, wesentlich reduziert und Schwingungsversuche im ruhenden, montierten Zustand zur Feinabstimmungs- und Überprüfungszwecken ermöglicht. Es ist insbesondere ein Feststellkeil mit einer Sicherungsschräge in Kombination mit einer Laufschaufel, die eine verjüngte Keilnut aufweist, beschrieben. Im Unterschied zu bekannten Turbinen, bei denen axial eingeführte Laufschaufeln verwendet werden, ermöglichen deshalb die hier beschriebenen Vorrichtungen, Systeme und Verfahren eine Reduktion der Zeit und Schwierigkeit bei der Montage axial eingeführter Laufschaufeln, ermöglichen die Verminderung von Betriebsbeanspruchungen und die Senkung von Kosten im Zusammenhang mit Schwalbenschwanz-Abschlusseinheiten und ermöglichen eine Verbindung an den Laufschaufelplattformen zur Erhöhung der Eigenfrequenzen von Laufschaufeln, zur Verringerung dynamischer Beanspruchungen in dem Schwalbenschwanz

und zur Ermöglichung der Erfassung genauer Schwingungsversuchsdaten im ruhenden, montierten Zustand zwecks Feinabstimmung und Frequenzüberprüfung.

**[0046]** Die hier beschriebenen Verfahren und Systeme sind nicht auf die hier beschriebenen konkreten Ausführungsformen beschränkt. Bestandteile von jedem System und/oder Schritte von jedem Verfahren können beispielsweise unabhängig und getrennt von anderen hier beschriebenen Bestandteilen und/oder Schritten verwendet und/oder ausgeführt werden. Zusätzlich kann jeder Bestandteil und/oder Schritt auch mit anderen Anordnungen und Verfahren verwendet und/oder ausgeführt werden.

**[0047]** Es sind zwar verschiedene bestimmte Ausführungsformen der Erfindung beschrieben worden, jedoch erkennt der Fachmann, dass die Erfindung innerhalb des Rahmens und Geltungsbereichs der Ansprüche mit Abwandlungen umgesetzt werden kann.

**[0048]** Eine Laufradanordnung weist ein Laufrad mit mehreren Schwalbenschwanzschlitzen auf, die in Umfangsrichtung um eine Umfangsfläche des Laufrads beabstandet sind. Das Laufrad weist auch mehrere Aussparungen auf, die in der Umfangsfläche ausgebildet sind. Die Laufradanordnung weist wenigstens eine Laufschaufel mit einer einteiligen Abdeckung, einem Schaufelblatt, einem Schwalbenschwanz und einer Plattform mit einer ersten Fläche und einer gegenüberliegenden zweiten Fläche auf. Die erste Fläche der Plattform weist eine Keilnut auf. Die Keilnut weist eine gegenüberliegende verjüngte Fläche auf, die unter einem ersten Winkel bezogen auf die erste Fläche der Plattform ausgerichtet ist. Die Laufradanordnung weist ferner einen Feststellkeil mit einer ersten Fläche, die im Wesentlichen parallel zu der ersten Fläche der Plattform ausgerichtet ist, und einer gegenüberliegenden zweiten Fläche auf, die unter dem ersten Winkel bezogen auf die erste Fläche ausgerichtet ist, so dass die zweite Fläche im Wesentlichen parallel zu der verjüngten Fläche verläuft.

### Bezugszeichenliste

#### [0049]

Dampfturbine	10
Turbinenstufen	12
Welle	14
Gehäuse	16
Oberhälftenabschnitt	18
HD-Dampfeinlass	20
ND-Dampfauslass	22
Mittellinienachse	24
Enddichtungsabschnitt	26
Enddichtungsabschnitt	28
Endabschnitte	30
Abdichtungselemente	31
Abdichtungselemente	34
Abdichtungselemente	36
Laufschaufeln	38
Dampf	40
Statorbauteil	42
Innenhülle	44
Dampfkanal	46
Einlassleitapparate	48
Laufradanordnung	50
Laufrad	52



## CH 709 040 A2

Schwalbenschwanzschlitz	54
Mittellinie	55
axial verlaufende Vorsprünge	56
Nuten	58
Schwalbenschwanz	60
Plattform	62
Hinterseite	63
Schaufelblatt	64
Vorderseite	65
einteilige Abdeckung	66
axial verlaufende Vorsprünge	68
Nuten	70
Feststellkeil	72
Keilnut	74
Hinterseitenfläche	76
untere Fläche	78
Aussparung	80
Umfangsfläche	82
vorderer Rand	84
hinterer Rand	86
oberer Rand	88
gewinkelter Rand	90
gebogene Ecke	92
vorderer Rand	94
hinterer Rand	96
oberer Rand	98
abgewinkelter Rand	100
Fase	102
Breite	104
Höhe	106
Keilnutfläche	108
unterer Rand	110
Vorderseite	112
Rückseite	114
untere Fläche	116
vorderer Rand	118

hinterer Rand	120
Spalt	122
Vorderseitenfläche	124
Winkel	$\theta$
Winkel	$\beta$
Winkel	$\alpha$
Winkel	$\sigma$
Drehrichtungspfeil	R
Reibkräfte	F1
Reibkräfte	F2

### Patentansprüche

1. Laufradanordnung, die aufweist:  
ein Laufrad, das mehrere Schwalbenschwanzschlitze, die in Umfangsrichtung um eine Umfangsfläche des Laufrads beabstandet sind, und mehrere Aussparungen aufweist, die in der Umfangsfläche ausgebildet sind;  
wenigstens eine Laufschaufel mit einer einteiligen Abdeckung, einem Schaufelblatt, einem Schwalbenschwanz und einer Plattform, die eine erste Fläche und eine gegenüberliegende zweite Fläche aufweist, wobei die erste Fläche eine darin ausgebildete Keilnut aufweist, wobei die Keilnut eine gegenüberliegende verjüngte Fläche aufweist, die unter einem ersten Winkel bezogen auf die erste Fläche der Plattform ausgerichtet ist; und  
einen Feststellkeil, der eine erste Fläche, die im Wesentlichen parallel zu der ersten Fläche der Plattform ausgerichtet ist, und eine gegenüberliegende zweite Fläche aufweist, die unter dem ersten Winkel bezogen auf die erste Fläche ausgerichtet ist, wobei die zweite Fläche im Wesentlichen parallel zu der verjüngten Fläche verläuft.
2. Laufradanordnung nach Anspruch 1, wobei jede von den mehreren Aussparungen eine axiale Länge aufweist, die ungefähr gleich einer axialen Länge der Keilnut ist.
3. Laufradanordnung nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Laufrad eine Drehachse aufweist, wobei die mehreren Schwalbenschwanzschlitze axiale Schwalbenschwanzeinführungsschlitze aufweisen, so dass jeder Schwalbenschwanzschlitz im Wesentlichen parallel zu der Drehachse verläuft; und/oder wobei ein Wert des ersten Winkels zwischen ungefähr  $1^\circ$  und ungefähr  $15^\circ$  liegt.
4. Laufradanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei der Feststellkeil eine axiale Breite aufweist, die bemessen ist, um dem Feststellkeil zu ermöglichen, verschiebbar in die Keilnut einzugreifen; und/oder wobei der Feststellkeil eingerichtet ist, um gleichzeitig in die Keilnut und eine von den mehreren Aussparungen verschiebbar einzugreifen.
5. Turbine, die aufweist:  
eine drehbare Welle mit einer Drehachse;  
ein Gehäuse, das sich längs des Umfangs um die drehbare Welle herum erstreckt, wobei das Gehäuse wenigstens einen Durchgang definiert, der eingerichtet ist, um ein Arbeitsfluid entlang einer Länge der drehbaren Welle zu leiten;  
eine Laufradanordnung, die mit einem Abschnitt der drehbaren Welle verbunden ist, um sich mit dieser gemeinsam zu drehen, wobei die Laufradanordnung eingerichtet ist, um das Arbeitsfluid zu expandieren, wobei die Laufradanordnung aufweist:  
ein Laufrad, das mehrere Schwalbenschwanzschlitze, die in Umfangsrichtung um eine Umfangsfläche des Laufrads beabstandet sind, und mehrere Aussparungen aufweist, die in der Umfangsfläche ausgebildet sind;  
mehrere Laufschaufeln, die in einer Umfangsanordnung um die Drehachse herum angeordnet sind, wobei jede jeweilige Laufschaufel von den mehreren Laufschaufeln einen Schwalbenschwanz, der eingerichtet ist, um mit einem jeweiligen einzelnen von den mehreren Schwalbenschwanzschlitzen gekoppelt zu werden, ein Schaufelblatt, eine einteilige Abdeckung, die einteilig mit der jeweiligen Laufschaufel ausgebildet ist, und eine Plattform aufweist, die eine erste Fläche und eine gegenüberliegende zweite Fläche aufweist, wobei die erste Fläche eine darin ausgebildete Keilnut aufweist, wobei die Keilnut eine gegenüberliegende verjüngte Fläche aufweist, die unter einem ersten Winkel bezogen auf die erste Fläche der Plattform ausgerichtet ist; und  
wenigstens einen Feststellkeil, der eine erste Fläche, die im Wesentlichen parallel zu der ersten Fläche der Plattform ausgerichtet ist, und eine gegenüberliegende zweite Fläche aufweist, die unter dem ersten Winkel bezogen auf die erste Fläche ausgerichtet ist, wobei die zweite Fläche im Wesentlichen parallel zu der verjüngten Fläche verläuft.

6. Turbine nach Anspruch 5, wobei die mehreren Schwalbenschwanzschlitze unter einem zweiten Winkel bezogen auf die Drehachse ausgerichtet sind; wobei die mehreren Schwalbenschwanzschlitze vorzugsweise axiale Schwalbenschwanzeinführungsschlitze aufweisen, so dass der zweite Winkel ungefähr  $0^\circ$  beträgt.
7. Turbine nach Anspruch 5 oder 6, wobei die zweite Fläche des Feststellkeils eingerichtet ist, um in die verjüngte Fläche einer jeweiligen einzelnen von den mehreren Laufschaufeln einzugreifen, und eine untere Fläche des Feststellkeils eingerichtet ist, um gleichzeitig in eine untere Fläche einer jeweiligen einzelnen von den mehreren Aussparungen einzugreifen, so dass eine benachbarte Laufschaufel von den mehreren Laufschaufeln mit einem jeweiligen einzelnen benachbarten von den mehreren Schwalbenschwanzschlitzen verbunden werden kann.
8. Turbine nach einem der Ansprüche 5 bis 7, wobei die zweite Fläche des Feststellkeils eingerichtet ist, um in die verjüngte Fläche einer jeweiligen einzelnen von den mehreren Laufschaufeln einzugreifen, und die erste Fläche des Feststellkeils eingerichtet ist, um gegen die zweite Fläche einer jeweiligen einzelnen benachbarten von den mehreren Laufschaufeln zu passen;  
wobei der erste Winkel vorzugsweise eingerichtet ist, um eine Sicherungsschräge zwischen dem Feststellkeil und einer jeweiligen einzelnen von den mehreren Laufschaufeln zu ermöglichen, so dass die Plattform einer jeweiligen einzelnen von den mehreren Laufschaufeln mit der Plattform einer jeweiligen einzelnen benachbarten von den mehreren Laufschaufeln verbunden ist, um eine Erhöhung einer Eigenfrequenz der jeweiligen Laufschaufeln zu ermöglichen; wobei ein Wert des ersten Winkels vorzugsweise zwischen ungefähr  $1^\circ$  und ungefähr  $15^\circ$  liegt.
9. Verfahren zum Montieren einer Laufradanordnung mit mehreren Laufschaufeln und einem Laufrad, das mehrere Schwalbenschwanzschlitze aufweist, die in Umfangsrichtung um einen Umfang des Laufrads herum beabstandet sind, wobei jede Laufschaufel der mehreren Laufschaufeln einen Schwalbenschwanz, eine Plattform, ein Schaufelblatt und eine einteilige Abdeckung aufweist, wobei das Verfahren aufweist:  
Koppeln einer ersten Laufschaufel mit dem Laufrad, das ein Einführen des Schwalbenschwanzes der ersten Laufschaufel in einen ersten Schwalbenschwanzschlitz aufweist;  
Sichern der ersten Laufschaufel an dem Laufrad unter Verwendung eines Feststellkeils;  
Koppeln einer zweiten Laufschaufel mit dem Laufrad, das ein Einführen des Schwalbenschwanzes der zweiten Laufschaufel in einen zweiten Schwalbenschwanzschlitz benachbart zu dem ersten Schwalbenschwanzschlitz in der Nähe des Feststellkeils aufweist;  
Drehen der Laufradanordnung bis zu einer Betriebsdrehzahl; und  
Verbinden der ersten Laufschaufel mit der zweiten Laufschaufel unter Verwendung des Feststellkeils, wobei eine Reibkontaktkraft zwischen der ersten Laufschaufel und dem Feststellkeil und zwischen der zweiten Laufschaufel und dem Feststellkeil erzeugt wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei das Verbinden der ersten Laufschaufel mit der zweiten Laufschaufel ein Verbinden der Plattform der ersten Laufschaufel mit der Plattform der zweiten Laufschaufel zur Ermöglichung einer Erhöhung einer Eigenfrequenz der ersten Laufschaufel und der zweiten Laufschaufel aufweist; und/oder das ferner ein Verlangsamen der Laufradanordnung aus der Betriebsdrehzahl in einen Ruhezustand und Erfassen von Schwingungsversuchsdaten der Laufradanordnung im ruhenden Zustand zur Verwendung bei der Feinabstimmung und Frequenzüberprüfung aufweist.

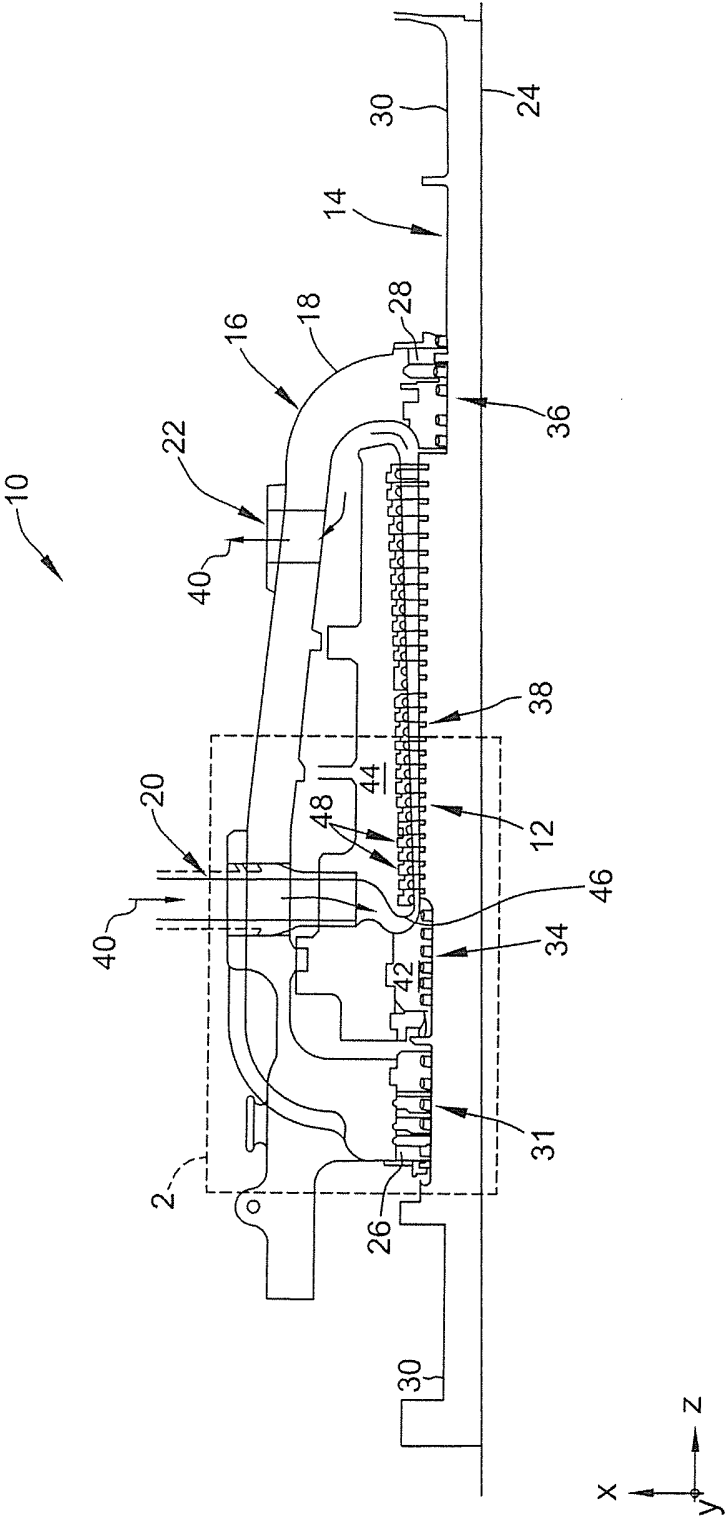


FIG. 1

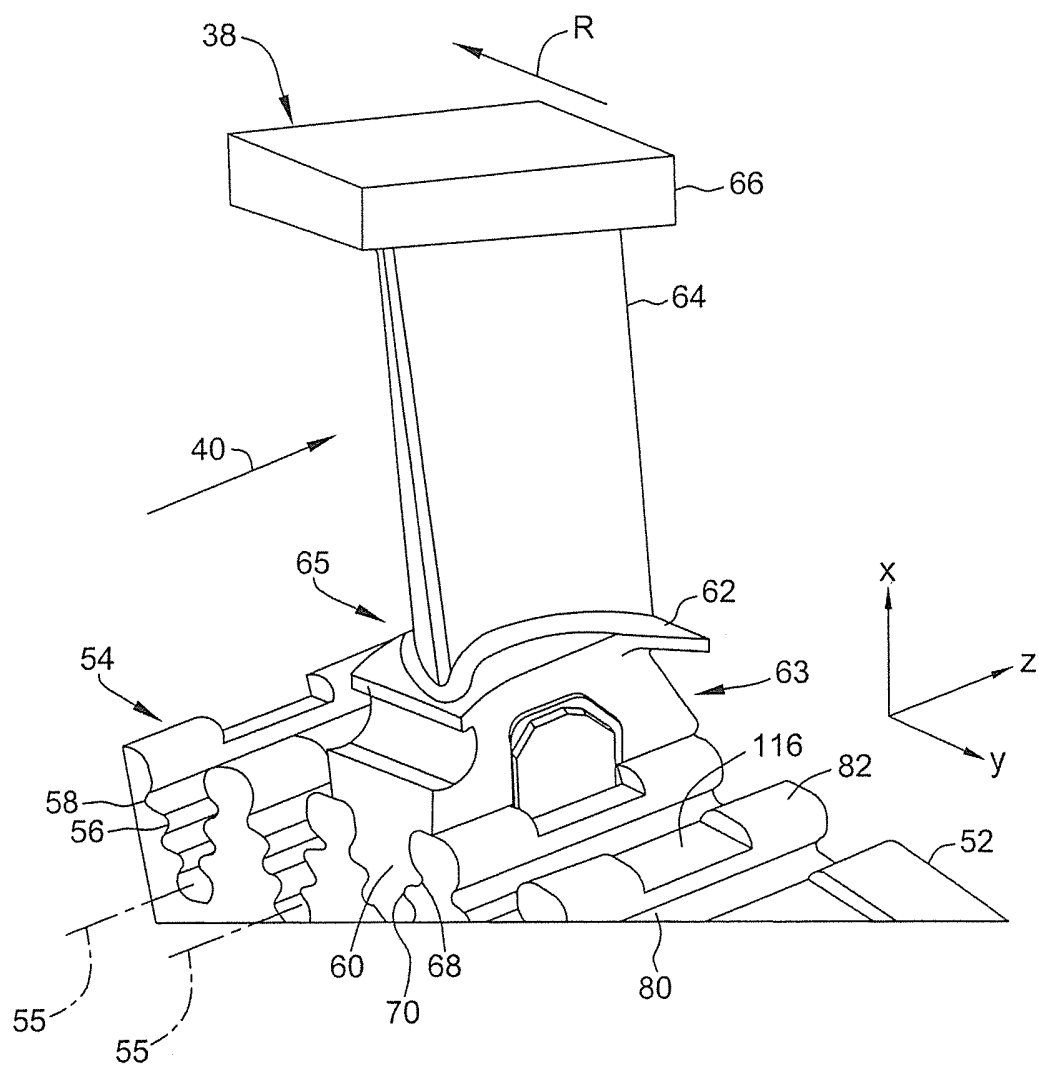


FIG. 2

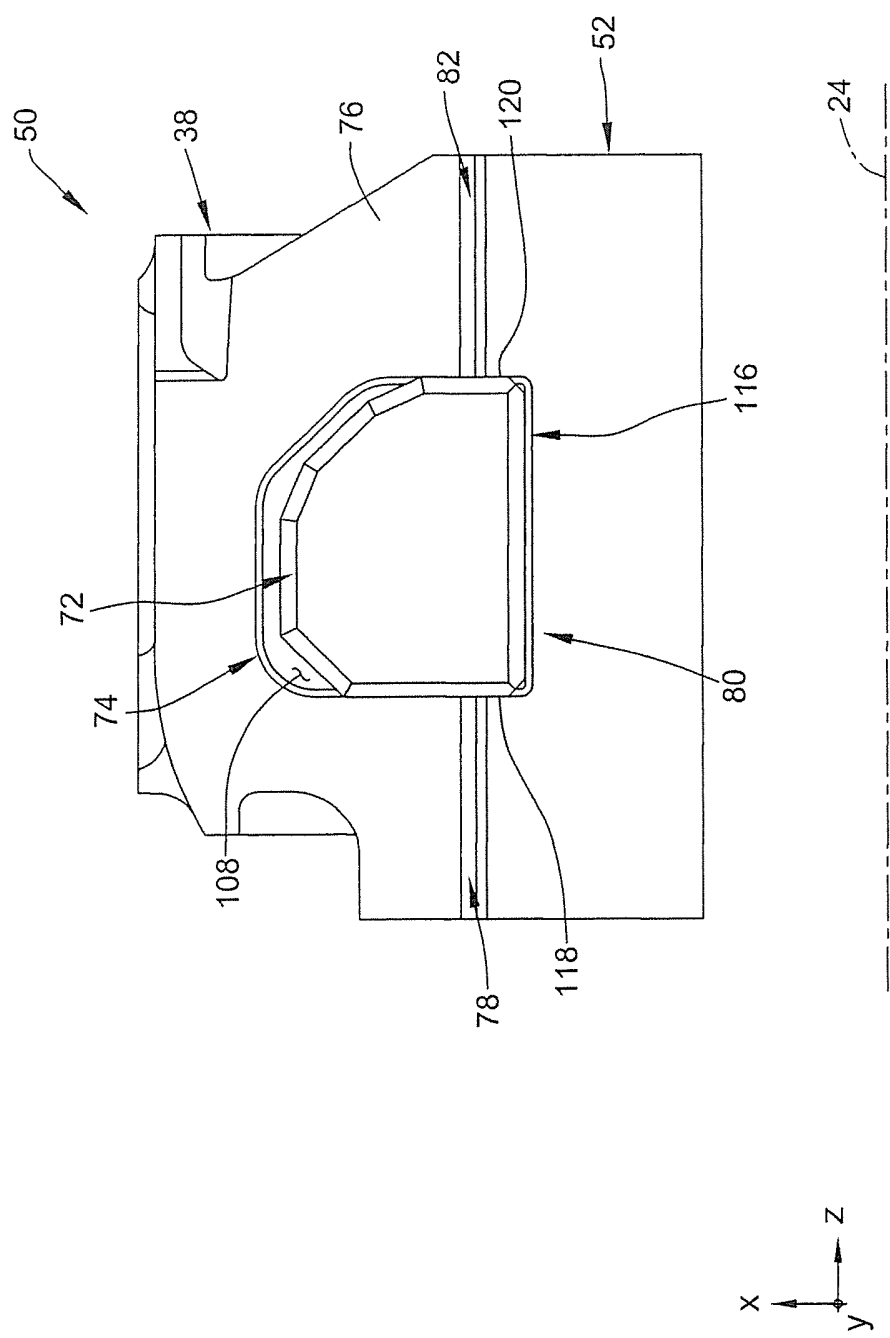
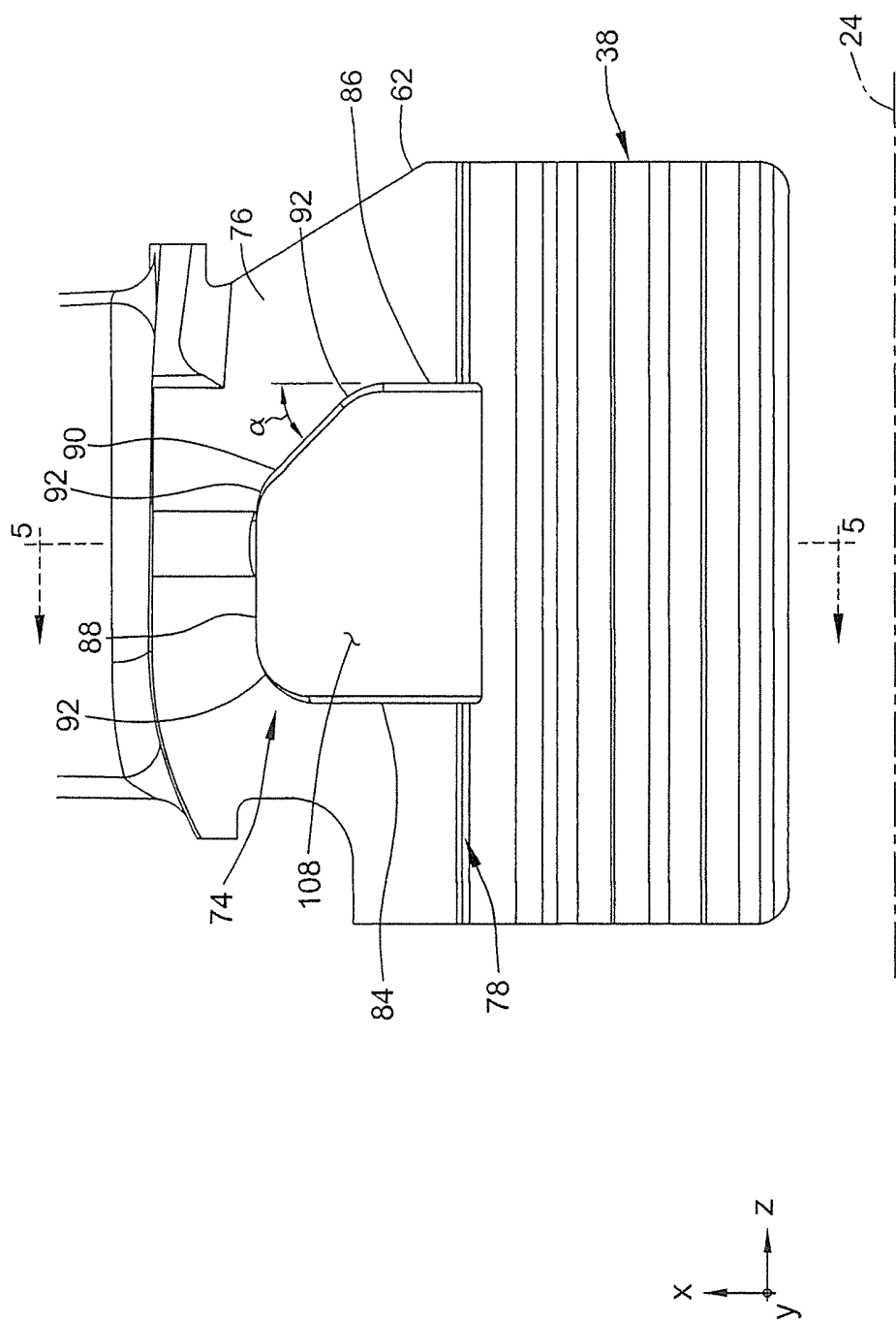


FIG. 3

4  
G.  
E.

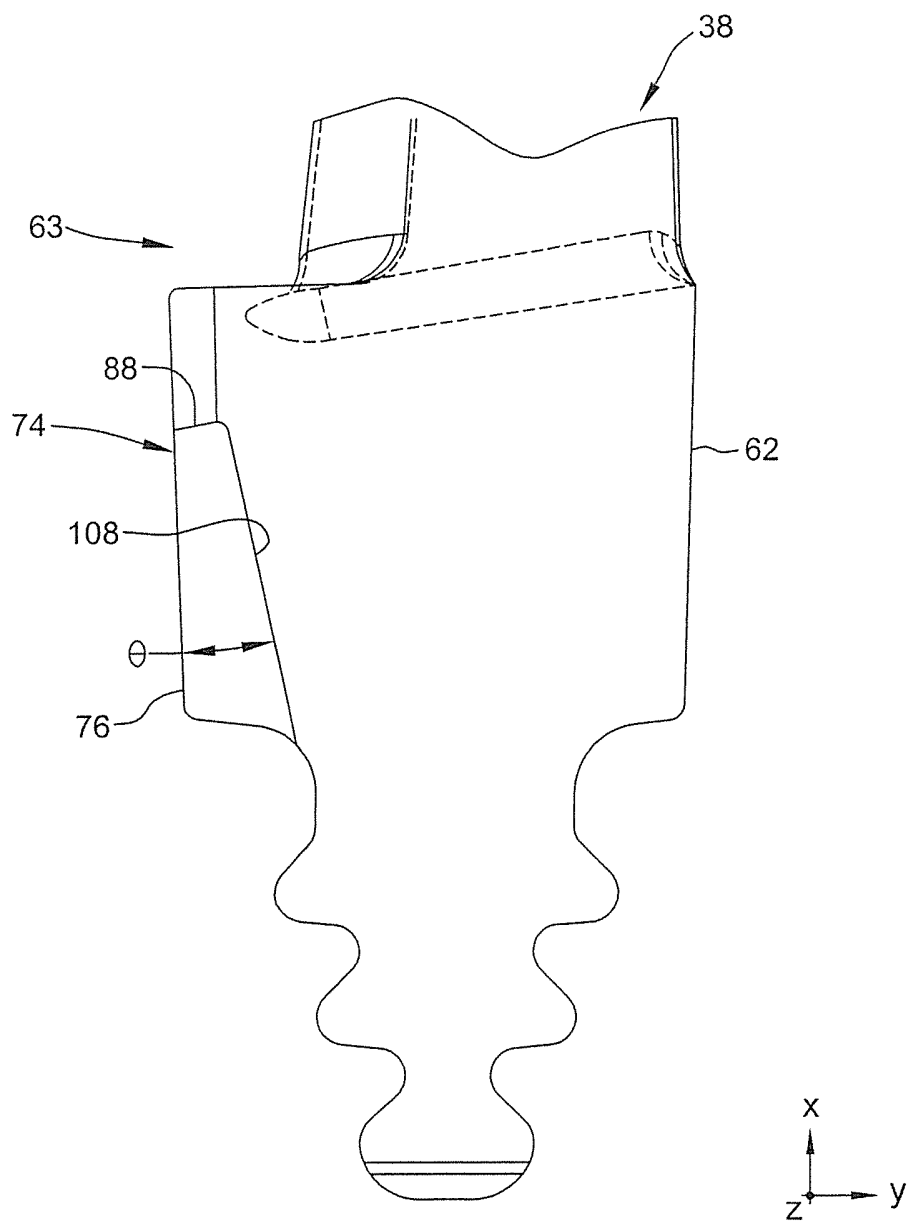


FIG. 5



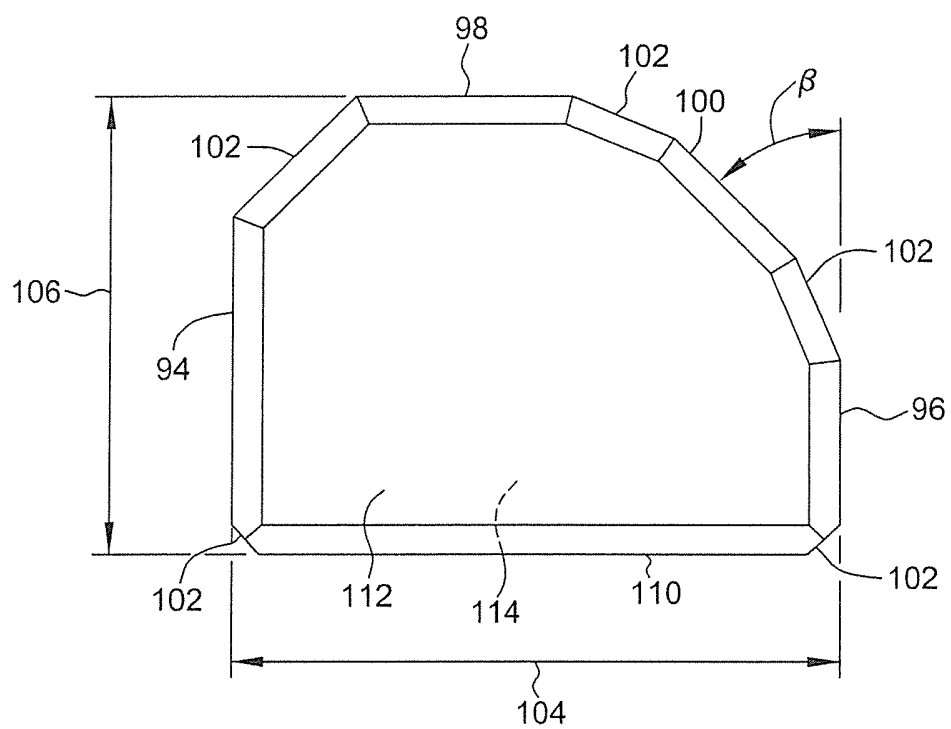


FIG. 6

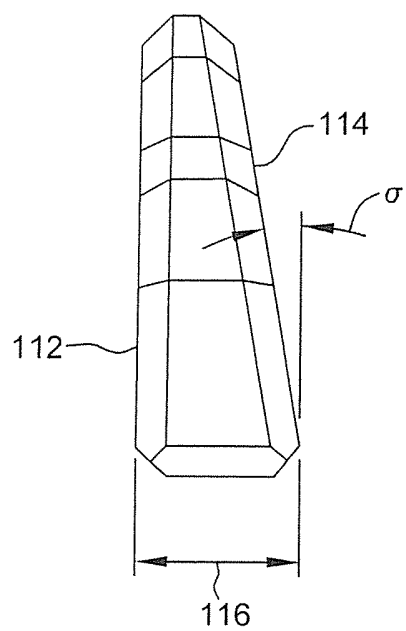


FIG. 7

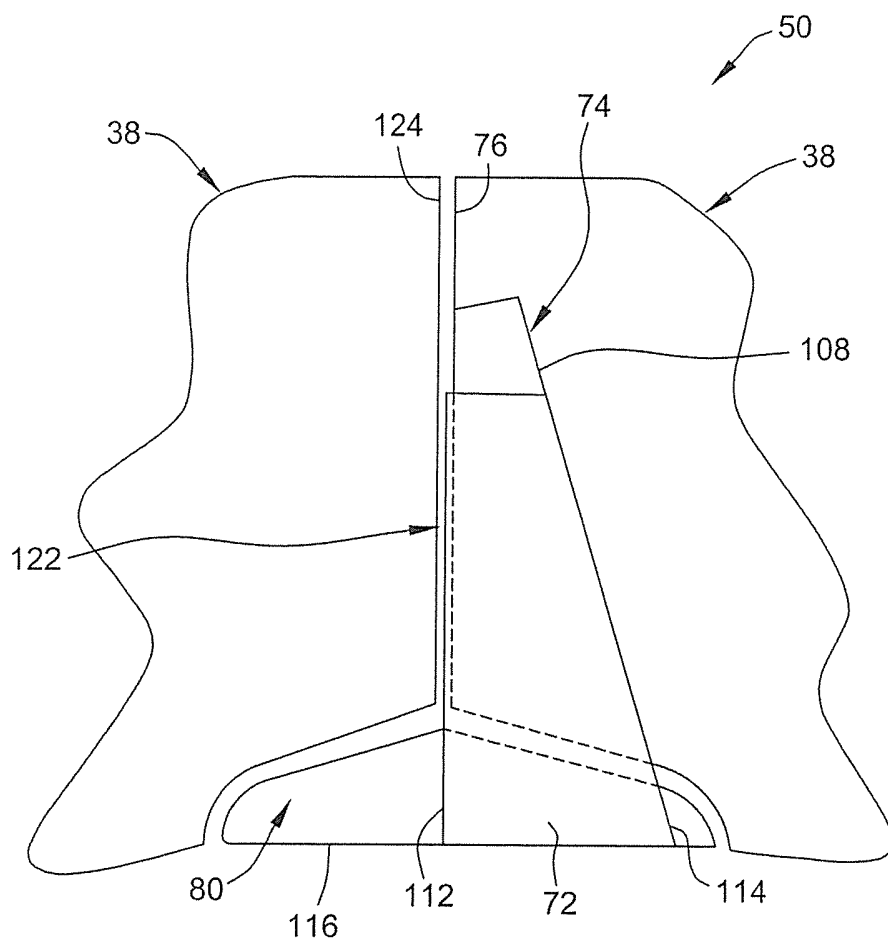


FIG. 8

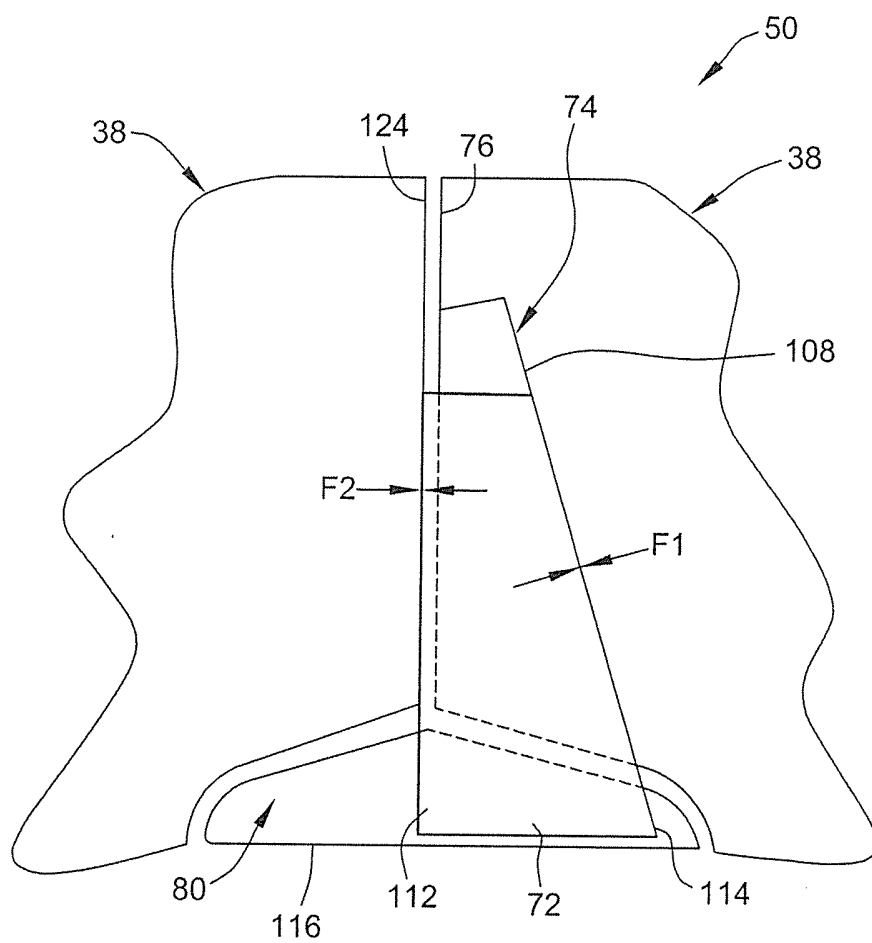


FIG. 9