



(10) **DE 10 2014 118 014 A1** 2015.06.18

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2014 118 014.3**

(22) Anmeldetag: **05.12.2014**

(43) Offenlegungstag: **18.06.2015**

(51) Int Cl.: **F01D 5/32 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:  
**14/109,526 17.12.2013 US**

(71) Anmelder:  
**GENERAL ELECTRIC COMPANY, Schenectady,  
N.Y., US**

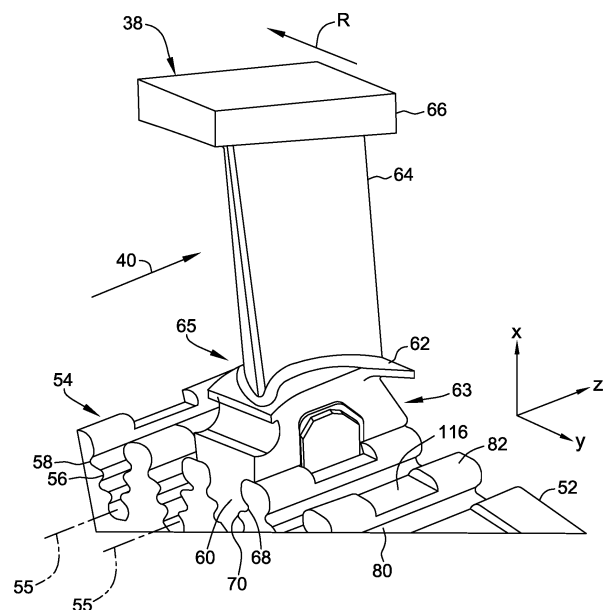
(74) Vertreter:  
**Rüger, Barthelt & Abel, 73728 Esslingen, DE**

(72) Erfinder:  
**Deallenbach, Robert Edward, Greenville, S.C., US;  
Nair, Ravichandran Pazhur, West Chester, Ohio,  
US; Lupe, Douglas Arthur, Schenectady, N.Y., US**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **System und Verfahren zur Sicherung axial eingeführter Laufschaufeln an einer Rotoranordnung**

(57) Zusammenfassung: 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.



**Beschreibung****ALLGEMEINER STAND DER TECHNIK**

**[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 Schwalbenschwanzsegments 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 Schwalbenschwanzeinführungsschlitze 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 Umfangsan-

ordnung 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 Schwalbenschwanzeinführungsschlitze 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

feln 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 wenigstens eine 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 Flä-

che, 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;

**[0027]** Fig. 2 ist eine perspektivische Ansicht eines Abschnitts einer beispielhaften Laufradanordnung, die bei der in Fig. 1 dargestellten Dampfturbine verwendet werden kann;

**[0028]** Fig. 3 ist eine Teil- und Seitenansicht der Laufradanordnung der in Fig. 1 dargestellten Dampfturbine, mit Blick im Wesentlichen senkrecht zur X-Z-Ebene;

**[0029]** 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;

**[0030]** Fig. 5 ist eine Schnittdarstellung der Laufschaufel entlang der Schnittlinie 5-5, die in Fig. 4 dargestellt ist;

**[0031]** Fig. 6 ist eine Seitenansicht eines beispielhaften Feststellkeils, der bei der in Fig. 2 dargestellten Laufradanordnung verwendet werden kann;

**[0032]** Fig. 7 ist eine Endansicht des in Fig. 6 dargestellten Feststellkeils;

**[0033]** 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

**[0034]** 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

**[0035]** 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.

**[0036]** 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 Laufschaufelverkeilungssysteme und -verfahren nicht auf eine bestimmte Art von Turbine beschränkt sind. Ein Durchschnittsfachmann sollte erkennen, dass die hier beschriebenen gegenwärtigen Laufschaufelverkeilungssysteme 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.

**[0037]** 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.

**[0038]** 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 Oberhälfenabschnitt 18 und einen (nicht dargestellten) Unterhälfenabschnitt unterteilt. Der Oberhälfenabschnitt 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.

**[0039]** 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.

**[0040]** 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.

**[0041]** Fig. 2 ist eine perspektivische Ansicht eines Abschnitts einer beispielhaften Laufradanord-

nung **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 Schwalbenschwanzschlitze **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.

**[0042]** 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 Dampfes **40** im Wesentlichen entlang der Z-Achse verläuft.

**[0043]** 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.

**[0044]** 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 Wesentlichen 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 Schwalben-

schwanz **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.

**[0045]** **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.

**[0046]** **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° 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.

**[0047]** 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° und ungefähr 15°. Alternativ kann der Winkel  $\theta$  unter jedem beliebigen Winkel ausgebildet sein, mit dem die Keilnut **74** wie hier beschrieben funktionieren kann.

**[0048]** 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 **88** und dem hinteren Rand **86** 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 **86** unter einem Winkel  $\beta$  ausgebildet. Der Winkel  $\beta$  ist ungefähr derselbe wie der Winkel  $\alpha$  der Keilnut **74** und liegt zwischen ungefähr 30° und ungefähr 90°, wobei bei 90° 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.

**[0049]** 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° und ungefähr 15°. Alternativ kann der Winkel  $\sigma$  unter jedem beliebigen Winkel ausgebildet sein, mit dem der Feststellkeil **72** wie hier beschrieben funktionieren kann.

**[0050]** 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, Fig. 3 und Fig. 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**.

**[0051]** 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 Laufradschwalbenschwanzschlitze **54** eng verbunden bleiben.

**[0052]** Während des Betriebs ermöglicht die Koppelung 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.

**[0053]** 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 zu Feinabstimmungs- und Überprüfungs Zwecken 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-Abschlusseinsätzen 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.

**[0054]** 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.

**[0055]** 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.



**[0056]** 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

10	Dampfturbine
12	Turbinenstufen
14	Welle
16	Gehäuse
18	Oberhälftenabschnitt
20	HD-Dampfeinlass
22	ND-Dampfauslass
24	Mittellinienachse
26	Enddichtungsabschnitt
28	Enddichtungsabschnitt
30	Endabschnitte
31	Abdichtungselemente
34	Abdichtungselemente
36	Abdichtungselemente
38	Laufschaufeln
40	Dampf
42	Statorbauteil
44	Innenhülle
46	Dampfkana
48	Einlassleitapparate
50	Laufradanordnung
52	Laufrad
54	Schwalbenschwanzschlitz
55	Mittellinie
56	axial verlaufende Vorsprünge
58	Nuten
60	Schwalbenschwanz
62	Plattform
63	Hinterseite
64	Schaufelblatt
65	Vorderseite
66	einteilige Abdeckung
68	axial verlaufende Vorsprünge
70	Nuten
72	Feststellkeil

74	Keilnut
76	Hinterseitenfläche
78	untere Fläche
80	Aussparung
82	Umfangsfläche
84	vorderer Rand
86	hinterer Rand
88	oberer Rand
90	gewinkelter Rand
92	gebogene Ecke
94	vorderer Rand
96	hinterer Rand
98	oberer Rand
100	abgewinkelter Rand
102	Fase
104	Breite
106	Höhe
108	Keilnutfläche
110	unterer Rand
112	Vorderseite
114	Rückseite
116	untere Fläche
118	vorderer Rand
120	hinterer Rand
122	Spalt
124	Vorderseitenfläche
$\theta$	Winkel
$\beta$	Winkel
$\alpha$	Winkel
$\sigma$	Winkel
R	Drehrichtungspfeil
F1	Reibkräfte
F2	Reibkräfte

#### 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 Schwalbenschwanzeinführschlitze 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<sup>A</sup>  
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, wo-

bei 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 Schwalbenschwanzeinführschlitze 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.

Es folgen 9 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

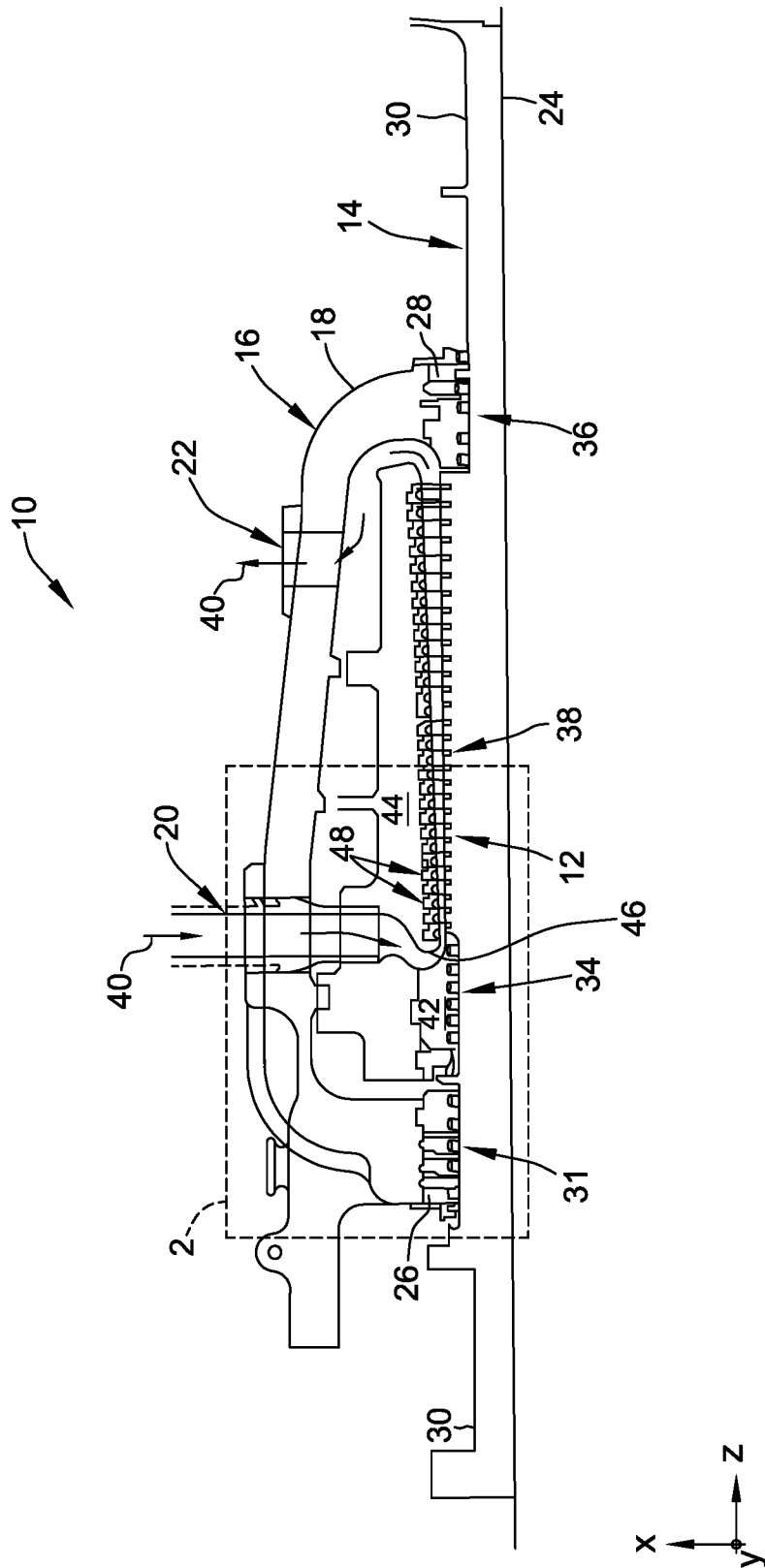


FIG. 1

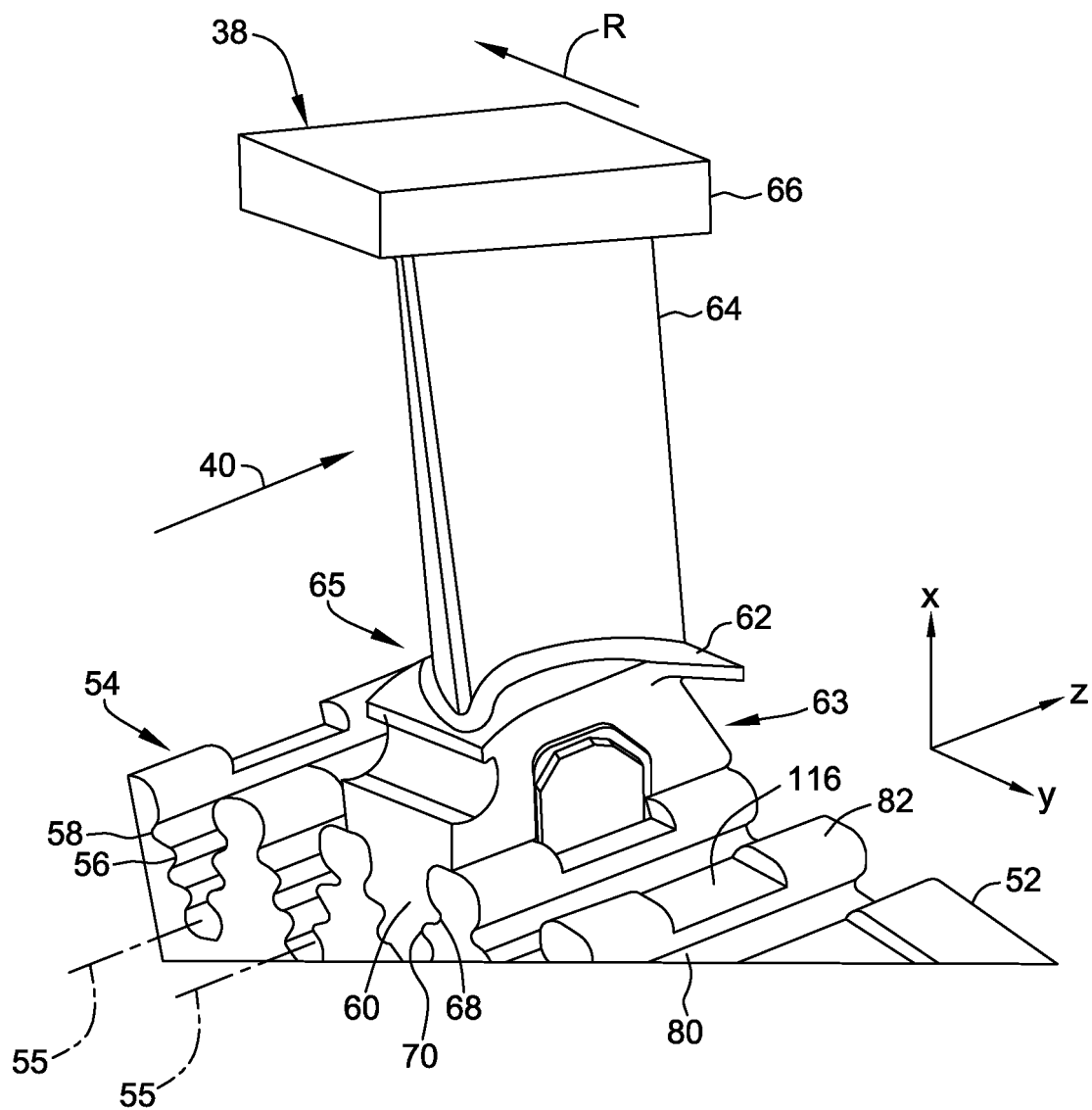


FIG. 2

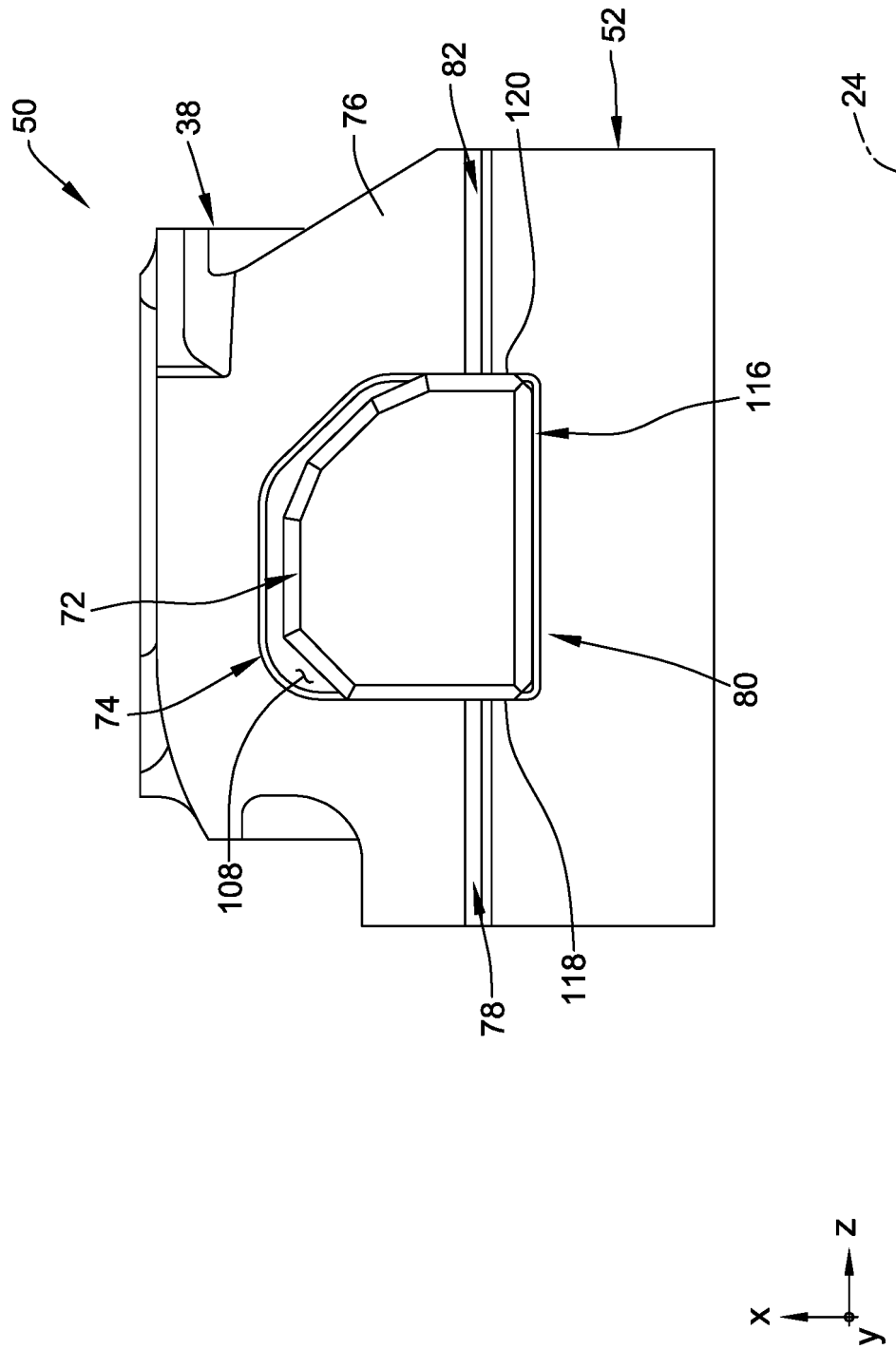
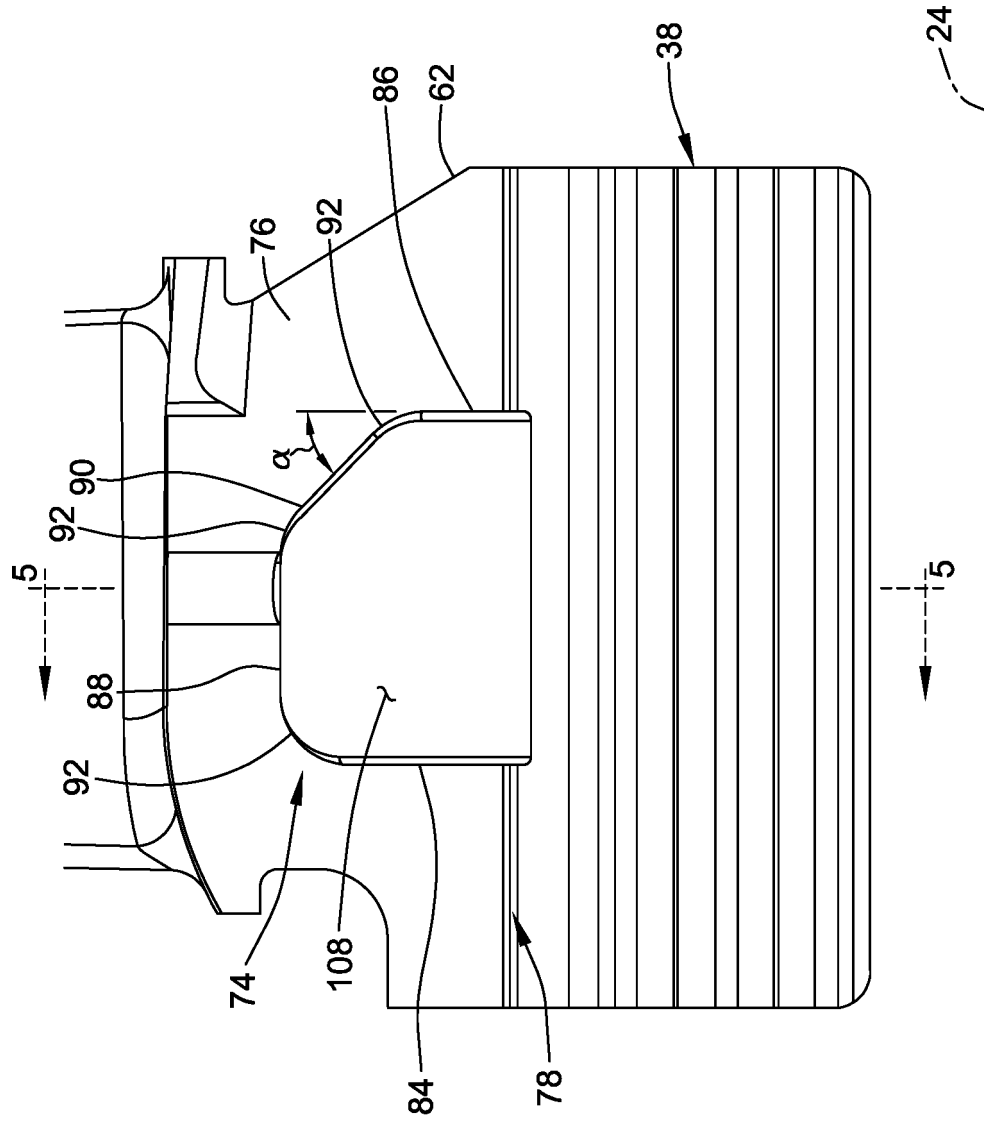
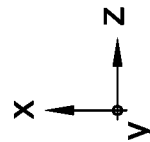


FIG. 3



**FIG. 4**



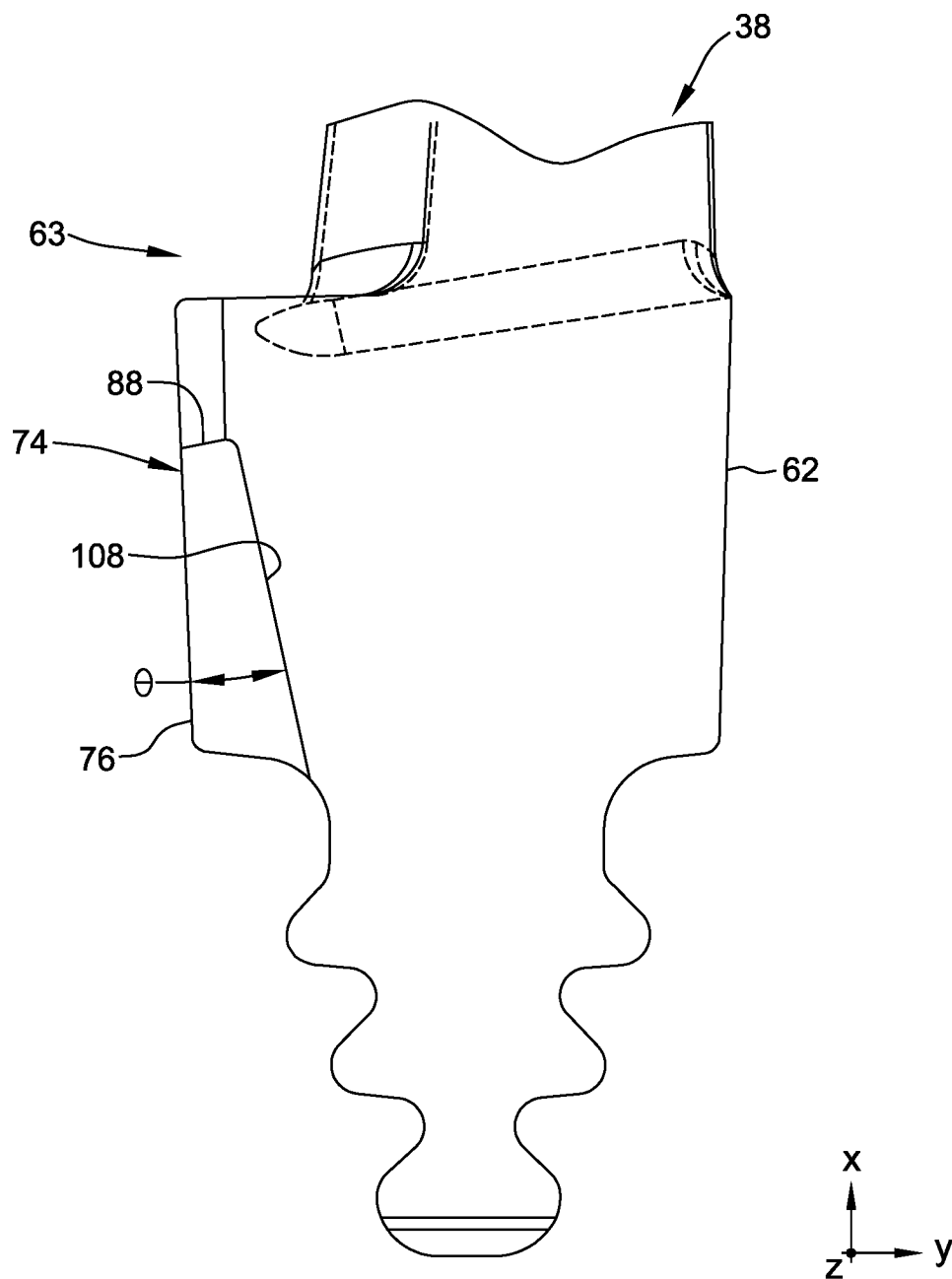


FIG. 5



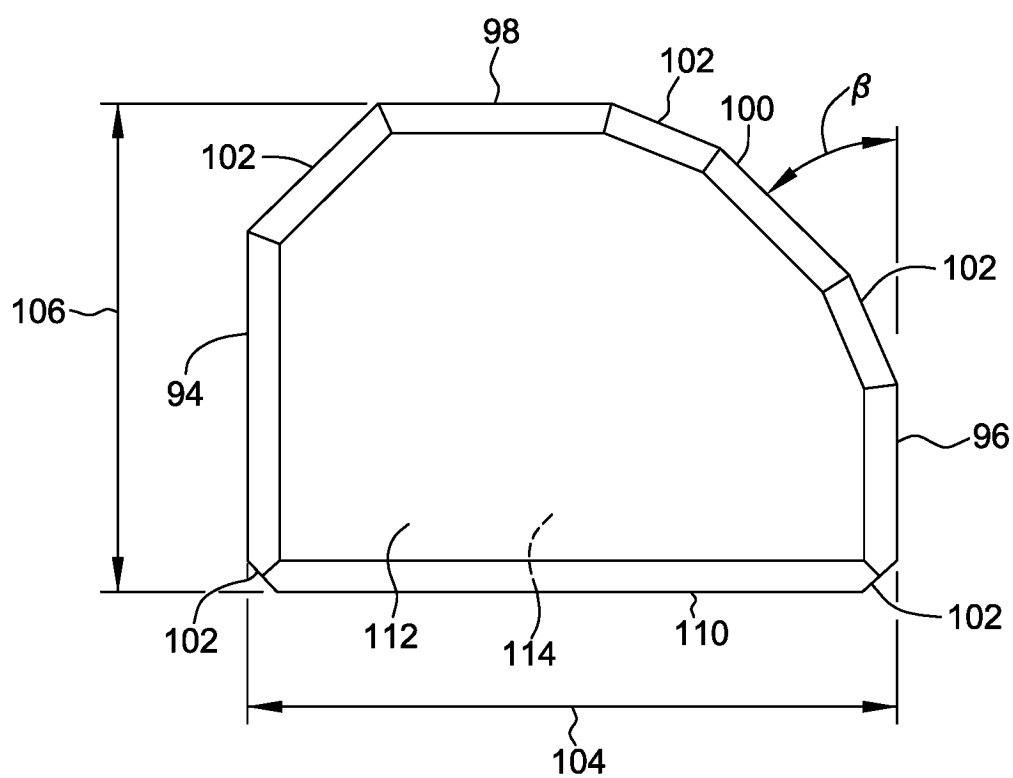


FIG. 6

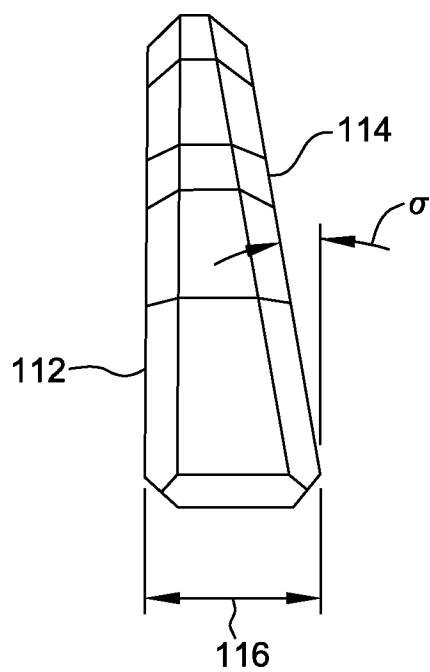


FIG. 7

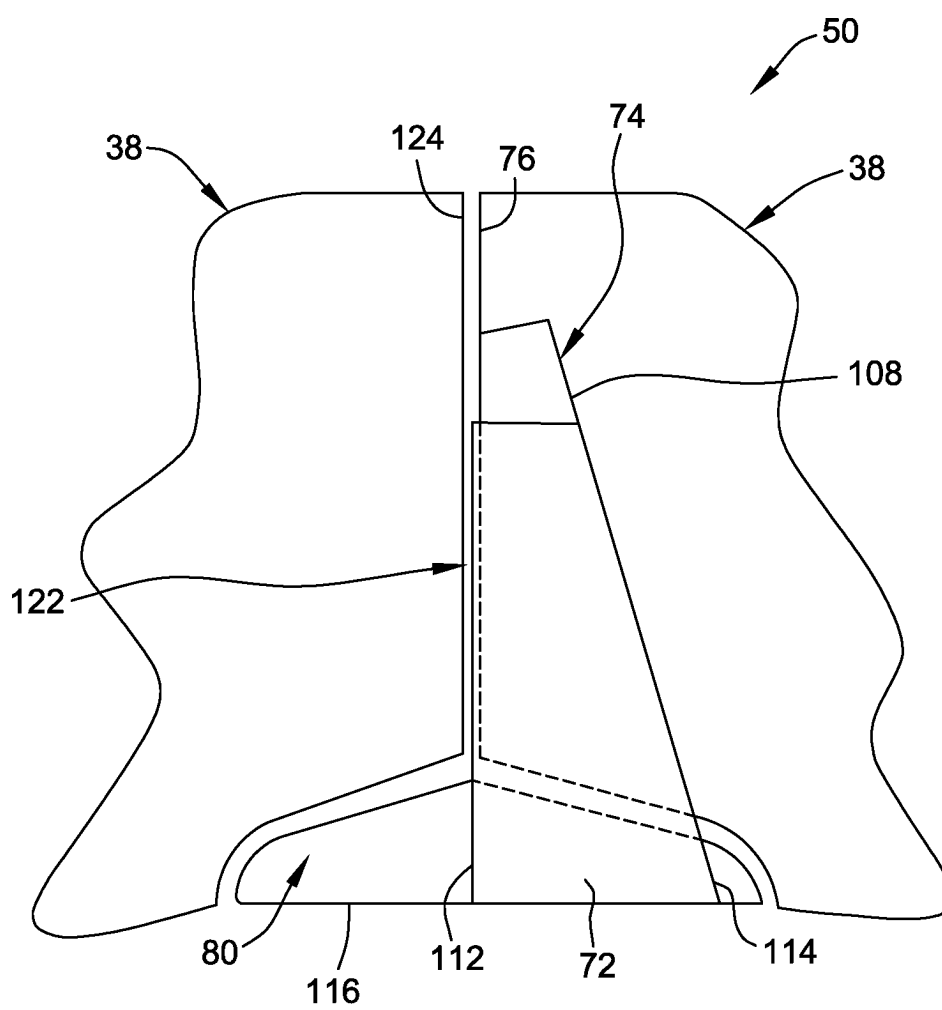


FIG. 8

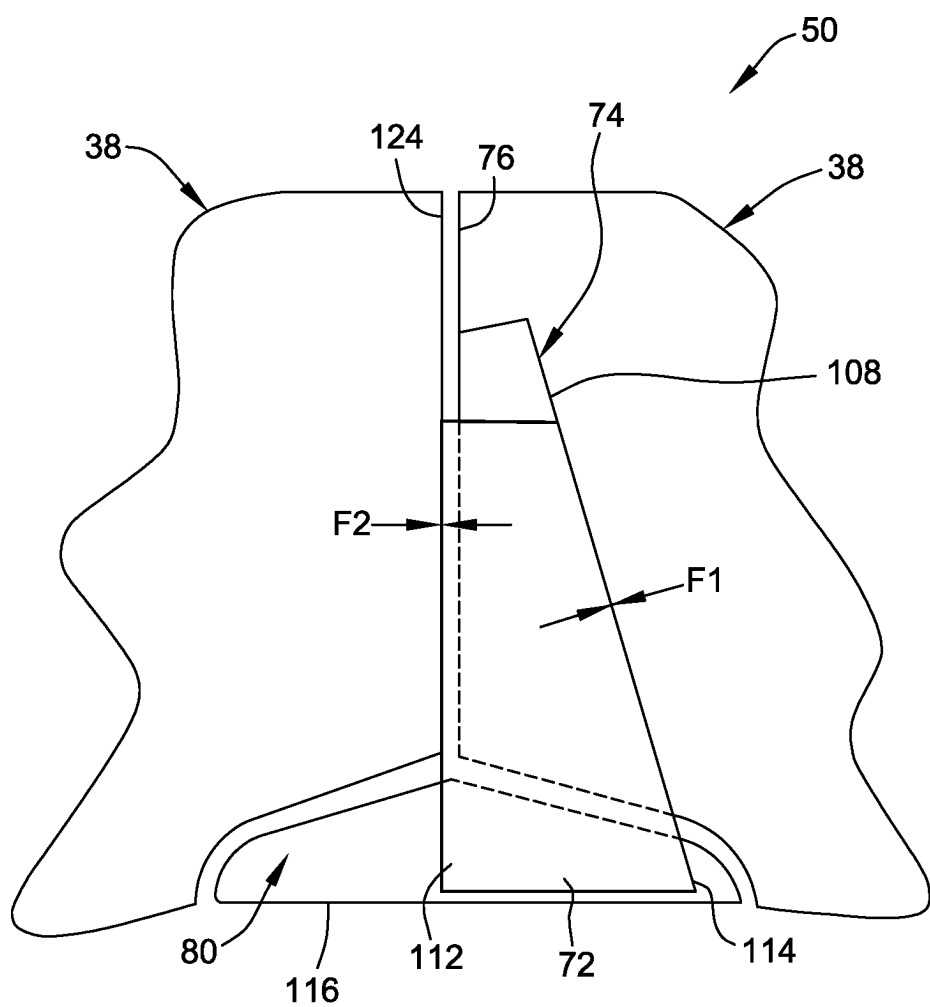


FIG. 9