



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2008 037 554 A1** 2009.05.20

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2008 037 554.3**

(22) Anmeldetag: **14.11.2008**

(43) Offenlegungstag: **20.05.2009**

(51) Int Cl.⁸: **F01D 5/30** (2006.01)

(30) Unionspriorität:
11/941,751 16.11.2007 US

(71) Anmelder:
General Electric Co., Schenectady, N.Y., US

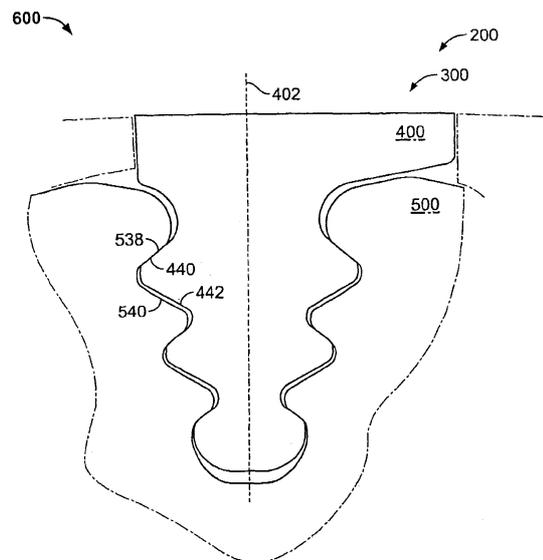
(74) Vertreter:
Rüger und Kollegen, 73728 Esslingen

(72) Erfinder:
**Riaz, Muhammad, Niskayuna, N.Y., US;
Stathopoulos, Dimitrios, Delmar, N.Y., US; Filyaev,
Vyacheslav, Greenbank, Bristol, UA**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Schwalbenschwanzbefestigung zur Verwendung mit Turbinenanordnungen und Verfahren zur Montage von Turbinenanordnungen**

(57) Hauptanspruch: Schwalbenschwanzanordnung (600) für eine Turbine (10), wobei die Schwalbenschwanzanordnung einen Schaufelschwalbenschwanz (400) und einen Radschwalbenschwanzschlitz (500) aufweist, der bemessen ist, um den Schaufelschwalbenschwanz aufzunehmen, wobei der Schaufelschwalbenschwanz und der Radschwalbenschwanzschlitz jeweils mehrere Stoßflächen (440, 538), mehrere Nichtkontaktflächen (442, 540) und mehrere Hälse aufweisen, die durch einen Übergang von einer Stoßfläche zu einer Nichtkontaktfläche definiert sind, wobei jeder Hals einen Schrägflächenwinkel (444, 542) aufweist, der die Verteilung einer im Wesentlichen gleichmäßig verteilten Last zwischen dem Schaufelschwalbenschwanz und dem Radschwalbenschwanzschlitz unterstützt.



Beschreibung

HINTERGRUND ZU DER ERFINDUNG

[0001] Diese Erfindung betrifft allgemein Dampfturbinen und insbesondere die Befestigung von Dampfturbinenlaufschaufeln an Dampfturbinenlaufrädern.

[0002] Wenigstens einige bekannte Dampfturbinenlaufschaufeln werden hohen Fliehkräften ausgesetzt. Insbesondere können Laufschaufeln, die in den letzten wenigen Stufen von Niederdrucklaufrädern angeordnet sind, aufgrund der Fliehkräfte, die durch die Rotation der Dampfturbinenlaufräder verursacht sind, mehr beansprucht sein als Laufschaufeln in anderen Stufen. Derartige Belastungen rufen höhere mittlere und lokale Spannungen in den Verbindungsschwalbenschwänzen hervor. Spannungsrisskorrosion (SRK) in den Niederdruck-Laufschaufeln stellt ein ernstes Problem dar und wird zum großen Teil durch lokale Spannungen herbeigeführt. An sich können höhere lokale Spannung zu geringerer Dauerfestigkeit von Laufrad- und Laufschaufelschwalbenschwänzen führen. Mit steigender Nachfrage nach immer längeren Laufschaufeln müssen die Schwalbenschwänze unter höheren Lasten funktionieren.

[0003] Bei wenigstens einigen bekannten Niederdruckturbinen kann das Rotorlaufrad eine größere Beschränkung darstellen als die Laufschaufel. Insbesondere ist das Material, das zur Herstellung wenigstens einiger bekannter Laufschaufeln verwendet wird, hinsichtlich der Spannungsrisskorrosion beständiger als das für Laufräder verwendete Material. Es kann ein effektives Mittel zur Vermeidung eines SRK-Defektes in Niederdruck-Laufrädern darstellen, die lokalen Spannungen in dem Laufradschwalbenschwanz zu reduzieren.

KURZE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0004] Gemäß einem Aspekt ist ein Verfahren zur Montage einer Dampfturbine, einschließlich einer Rotoranordnung, geschaffen. Das Verfahren enthält die Bereitstellung wenigstens einer Turbinenlaufschaufel, die einen Schwalbenschwanz enthält, der mehrere Druck- bzw. Stoßflächen, mehrere berührungsfreie bzw. Nichtkontaktflächen und wenigstens einen Hals enthält, der zwischen einer der Stoßflächen und einer der Nichtkontaktflächen definiert ist. Das Verfahren enthält ferner die Bereitstellung eines Turbinenlaufrads, das wenigstens einen in diesem ausgebildeten Schwalbenschwanzschlitz enthält, der durch mehrere Stoßflächen und mehrere Nichtkontaktflächen definiert ist, und eine Kopplung des Schwalbenschwanzes der wenigstens einen Turbinenlaufschaufel in dem Turbinenlaufradschlitz in einer derartigen Weise, dass ein Schrägenwinkel des wenigstens einen Halses eine im Wesentlichen

gleichförmige Verteilung der Last zwischen dem Schwalbenschwanz und dem wenigstens einen Schlitz ermöglicht.

[0005] Gemäß einem weiteren Aspekt ist eine Schwalbenschwanzanordnung für eine Turbine geschaffen. Die Schwalbenschwanzanordnung enthält einen Laufschaufelschwalbenschwanz und einen Laufradschwalbenschwanzschlitz, der bemessen ist, um den Schaufelschwalbenschwanz aufzunehmen. Der Schaufelschwalbenschwanz und der Radschwalbenschwanzschlitz enthalten jeweils mehrere Stoß- bzw. Druckflächen, mehrere berührungsfreie Flächen bzw. Nichtkontaktflächen und mehrere Hälse, die durch einen Übergang von einer Stoßfläche zu einer Nichtkontaktfläche definiert sind. Jeder Hals enthält einen Schrägflächenwinkel, der die Verteilung einer im Wesentlichen gleichmäßig verteilten Last zwischen dem Schaufelschwalbenschwanz und dem Radschwalbenschwanzschlitz ermöglicht.

[0006] Gemäß einem weiteren Aspekt enthält eine Dampfturbine eine Rotoranordnung mit mehreren Turbinenlaufschaufeln, die an ein Turbinenlaufrad angekoppelt sind. Jede Turbinenschaufel enthält ein Schaufelblatt und einen Schwalbenschwanz, und jedes Turbinenrad enthält mehrere Schwalbenschwanzschlitze, die bemessen sind, um die mehreren Turbinenschaufelschwalbenschwänze aufzunehmen. Jeder Schaufelschwalbenschwanz und jeder Schwalbenschwanzschlitz enthalten mehrere Druck- bzw. Stoßflächen, mehrere berührungsfreie bzw. Nichtkontaktflächen und mehrere Hälse, die durch einen Übergang von einer Stoßfläche zu einer Nichtkontaktfläche gebildet sind, wobei jeder Hals einen Schrägflächenwinkel enthält, der es ermöglicht, eine im Wesentlichen gleichmäßig verteilte Last zwischen einem Schaufelschwalbenschwanz und einem zugehörigen Radschwalbenschwanzschlitz zu verteilen.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0007] [Fig. 1](#) zeigt eine schematisierte Darstellung einer beispielhaften Doppelstrom-Dampfturbinenmaschine;

[0008] [Fig. 2](#) zeigt eine Darstellung einer beispielhaften Turbinenlaufschaufel, die mit der in [Fig. 1](#) veranschaulichten Dampfturbine verwendet werden kann;

[0009] [Fig. 3](#) zeigt eine perspektivische Darstellung eines Abschnitts eines beispielhaften Turbinenlaufrads, das mit der in [Fig. 2](#) veranschaulichten Laufschaufel verwendet werden kann;

[0010] [Fig. 4](#) zeigt eine schematisierte Darstellung eines beispielhaften Turbinenschaufelschwalbenschwanzes, der mit der in [Fig. 2](#) veranschaulichten Schaufel verwendet werden kann;

[0011] [Fig. 5](#) zeigt eine schematisierte Darstellung eines beispielhaften Turbinenradschwalbenschwanzschlitzes, der mit dem in [Fig. 3](#) veranschaulichten Laufrad verwendet werden kann; und

[0012] [Fig. 6](#) zeigt eine schematisierte Darstellung einer beispielhaften Schwalbenschwanzanordnung, die den in [Fig. 4](#) veranschaulichten Schwalbenschwanz und den in [Fig. 5](#) veranschaulichten Schwalbenschwanzschlitz enthält.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0013] Wenigstens eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist nachstehend unter Bezugnahme auf ihre Anwendung in Verbindung mit einer Dampfturbinenmaschine und den Betrieb einer Dampfturbine beschrieben. Ferner ist wenigstens eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung nachstehend beschrieben, indem auf eine nominale Größe, einschließlich eines Satzes nominaler Abmessungen, Bezug genommen wird. Jedoch sollte es für einen Fachmann, der Fachkenntnisse in der Technik besitzt und durch die hier angegebene Lehre geleitet ist, offensichtlich sein, dass die Erfindung in gleicher Weise auf jede beliebige geeignete Turbine und/oder Maschine bzw. ein Triebwerk oder dergleichen anwendbar ist. Ferner sollte es für einen Fachmann, der Fachkenntnisse in der Technik besitzt und durch die hier angegebene Lehre geführt ist, offensichtlich sein, dass die Erfindung in gleicher Weise auf verschiedene Maßstäbe der nominalen Größe und/oder nominalen Abmessungen anwendbar ist.

[0014] [Fig. 1](#) zeigt eine schematisierte Darstellung einer beispielhaften Doppelstrom-Dampfturbine **10**. Die Turbine **10** enthält einen ersten und einen zweiten Niederdruck(ND)-Abschnitt **12** und **14**. Wie in der Technik bekannt, enthält jeder Turbinenabschnitt **12** und **14** mehrere Stufen von (in [Fig. 1](#) nicht veranschaulichten) Leitapparaten. Durch die Abschnitte **12** und **14** erstreckt sich eine Rotorwelle **16** hindurch. Jeder ND-Abschnitt **12** und **14** enthält eine Düse bzw. Leiteinrichtung **18** und **20**. Ein einzelner äußerer Mantel oder ein einzelnes äußeres Gehäuse **22** ist entlang einer horizontalen Ebene und in Axialrichtung in einen oberen und einen unteren Teilabschnitt **24** bzw. **26** unterteilt und umspannt beide ND-Abschnitte **12** und **14**. Ein zentraler Abschnitt **28** des Mantels **22** enthält einen Niederdruck-Dampfeinlass **30**. In dem äußeren Mantel oder Gehäuse **22** sind die ND-Abschnitte **12** und **14** in einer einzigen Lageraufspannung angeordnet, die durch Achslager **32** und **34** gelagert ist. Zwischen dem ersten und dem zweiten Turbinenabschnitt **12** und **14** erstreckt sich ein Strömungsverteiler **40**.

[0015] Im Betrieb nimmt der Niederdruck-Dampfeinlass **30** Niederdruck/Mitteltemperatur-Dampf **50** von

einer Quelle, wie beispielsweise, jedoch nicht ausschließlich, einer HD-Turbine oder einer MD-Turbine, über eine (nicht veranschaulichte) Querleitung entgegen. Der Dampf **50** wird durch den Einlass **30** geleitet, wobei der Strömungsverteiler **40** den Dampfstrom in zwei entgegengesetzt gerichtete Strömungspfade **52** und **54** aufteilt. Insbesondere wird der Dampf **50** in der beispielhaften Ausführungsform durch die ND-Abschnitte **12** und **14** befördert, in denen dem Dampf Arbeit entzogen wird, um die Rotorwelle **16** zu drehen. Der Dampf verlässt die ND-Abschnitte **12** und **14** und wird beispielsweise zu einem Kondensator geleitet.

[0016] Es sollte beachtet werden, dass, obwohl [Fig. 1](#) eine Doppelstrom- bzw. Gegenstrom-Niederdruckturbine veranschaulicht, der Fachmann ohne weiteres erkennen wird, dass die vorliegende Erfindung nicht darauf beschränkt ist, nur im Zusammenhang mit Niederdruckturbinen verwendet zu werden, und dass sie auch im Zusammenhang mit einer beliebigen Doppelstromturbine, einschließlich, jedoch nicht ausschließlich Mitteldruck(MD)-Turbinen und/oder Hochdruck(HD)-Turbinen, eingesetzt werden kann. Außerdem ist die vorliegende Erfindung nicht darauf beschränkt, nur im Zusammenhang mit Doppelstrom- bzw. Gegenstromturbinen eingesetzt zu werden, so dass sie vielmehr auch zum Beispiel mit Einzelstrom-Dampfturbinen genauso verwendet werden kann.

[0017] [Fig. 2](#) veranschaulicht eine beispielhafte Turbinenschaufel **200**, die im Zusammenhang mit der (in [Fig. 1](#) veranschaulichten) Dampfturbine **10** verwendet werden kann. Die Turbinenschaufel **200** enthält eine Druckseite **202** und eine Saugseite **204**, die an einer Vorderkante **206** und einer Hinterkante **208** miteinander verbunden sind. Die Druckseite **202** ist im Wesentlichen konkav, während die Saugseite **204** im Wesentlichen konvex gestaltet ist. Die Turbinenschaufel **200** ist gemeinsam mit einem Schwalbenschwanz **400**, einem Schaufelblattabschnitt **210** und einem sich dazwischen erstreckenden Fuß **212** ausgebildet. Der Schaufelblattabschnitt **210** erstreckt sich in radialer Richtung nach außen von dem Fuß **212** aus und nimmt hinsichtlich seiner Länge bis zu einer Spitze **220** der Laufschaufel **200** zu. In der beispielhaften Ausführungsform sind der Schaufelblattabschnitt **210**, der Fuß **212** und der Schwalbenschwanz **400** alle in Form einer einzelnen, einstückigen Komponente gefertigt. In einer alternativen Ausführungsform können der Schaufelblattabschnitt **210** und der Fuß **212** aus einem Einzelstück gefertigt sein und anschließend mit dem Schwalbenschwanz **400** gekoppelt werden. In der beispielhaften Ausführungsform wird die Laufschaufel **200** mit der Rotorwelle **140** (wie sie in [Fig. 1](#) veranschaulicht ist) über eine Schwalbenschwanzanordnung **600** gekoppelt, die nachstehend in größeren Einzelheiten beschrieben ist und die sich von der Rotorwelle **140** aus radial

nach außen erstreckt.

[0018] [Fig. 3](#) zeigt eine perspektivische Darstellung eines Abschnitts eines beispielhaften Turbinenlauf-
rads **300**, das im Zusammenhang mit der (in [Fig. 2](#)
veranschaulichten) Laufschaufel **200** verwendet wer-
den kann. Das Laufrad **300** enthält mehrere längs
des Umfangs angeordnete Schwalbenschwanzschlit-
ze **500**, die nachstehend in größeren Einzelheiten be-
schrieben sind. Insbesondere sind die Schlitze **500** in
Umfangsrichtung rings um einen radialen Außenum-
fang des Laufrads **300** im Abstand zueinander ange-
ordnet, und sie sind geformt und bemessen, um in
sich einen Befestigungsabschnitt, wie beispielsweise
den (in [Fig. 2](#) veranschaulichten) Schaufelschwal-
benschwanz **400** der Schaufel **200**, aufzunehmen.
Insbesondere sind die Laufschaufeln **200** in jedem
Schwalbenschwanzschlitz **500** durch jeden zugehörigen
Schaufelschwalbenschwanz **400** in lösbarer
Weise eingekoppelt. An sich sind die Schaufeln **200**
mit der (in [Fig. 1](#) veranschaulichten) Welle **16** über
das Rad **300** betriebsmäßig gekoppelt.

[0019] [Fig. 4](#) zeigt eine schematisierte Ansicht eines
Schaufelschwalbenschwanzes **400**, der im Zu-
sammenhang mit der (in [Fig. 2](#) veranschaulichten)
Laufschaufel **200** verwendet werden kann. In der bei-
spielhaften Ausführungsform ist der Schwalben-
schwanz **400** in Bezug auf eine radiale Mittellinie **402**
symmetrisch. In modifizierten Ausführungsformen
kann die Lage jedes nachstehend beschriebenen
Elementes in Bezug auf die Mittellinie **402** verändert
sein. Der Schwalbenschwanz **400** enthält mehrere
Halsübergangsstücke **404**, **406** und **408**. Insbeson-
dere enthält der Schwalbenschwanz **400** in der bei-
spielhaften Ausführungsform einen oberen Halsüber-
gangsabschnitt **404**, einen mittleren Halsübergangs-
abschnitt **406** und einen unteren Halsübergangsab-
schnitt **408**. Der mittlere Hals **406** ist mit einem Radi-
us **410** ausgebildet. In ähnlicher Weise ist der untere
Hals **408** ebenfalls mit einem Radius **412** geformt. In
der beispielhaften Ausführungsform sind die Radien
410 und **412** identisch, und jeder beträgt zwischen
1,396 Millimeter (mm) und 2,412 mm oder insbeson-
dere etwa 1,904 mm. In alternativen Ausführungsfor-
men kann der Radius jedes Halsstück entweder ein-
zeln oder gemeinsam mit den anderen variieren. Der
obere Hals **404** ist mit einem Radius **414** ausgebildet,
der in der beispielhaften Ausführungsform zwischen
1,014 Millimeter (mm) und 5,586 mm oder insbeson-
dere etwa 3,300 mm beträgt. Alternative Ausführ-
ungsformen können einen anderen Radius für das
obere Halsstück benutzen. Die Radien **410**, **412** und
414 sind ausgewählt, um eine Reduktion lokaler
Spannungskonzentrationen in dem Schwalben-
schwanz **400** zu ermöglichen. Der Radius **414** ist fer-
ner optimiert, um einen sanften Übergang zwischen
dem Schwalbenschwanz **400** und einer Schaufel-
schwalbenschwanzplattform **416** zu unterstützen.

[0020] In der beispielhaften Ausführungsform ent-
hält der Schwalbenschwanz **400** ferner mehrere Haken-
übergangsstücke **418**, **420** und **422**. Insbesonde-
re enthält der Schwalbenschwanz **400** einen oberen
Hakenübergangsabschnitt **418**, einen mittleren Haken-
übergangsabschnitt **420** und einen unteren Haken-
übergangsabschnitt **422**. Der obere Haken **418**
ist mit zwei identischen Radien **424** und einer sich da-
zwischen erstreckenden ebenen Fläche **426** ausge-
bildet. Der mittlere Haken **420** ist ebenfalls mit zwei
identischen Radien **428** und einer sich dazwischen
erstreckenden ebenen Fläche **430** ausgebildet. In
der beispielhaften Ausführungsform sind die Radien
424 und **428** identisch, und jeder beträgt zwischen
0,425 Millimeter (mm) und 1,441 mm oder insbeson-
dere etwa 0,933 mm. In alternativen Ausführungsfor-
men kann der Radius jedes Hakens entweder einzeln
oder gemeinsam mit den anderen variieren. In der
beispielhaften Ausführungsform beträgt die Größe
der ebenen Flächen **426** und **430** jeweils zwischen
1,000 Millimeter (mm) und 3,952 mm oder insbeson-
dere etwa 1,412 mm. Alternative Ausführungsformen
können eine oder mehrere ebene Flächen verwen-
den, die jeweils eine andere Länge haben.

[0021] Der untere Haken **422** ist mit einem zusam-
mengesetzten Radius **432** und einer ebenen Fläche
434 ausgebildet, die die untere Begrenzungsfläche
des Schwalbenschwanzes **400** definiert. In der bei-
spielhaften Ausführungsform enthält der zusam-
gesetzte Radius **432** zwei Radien **436** und **438**. In der
beispielhaften Ausführungsform beträgt der Radius
436 zwischen 1,344 Millimeter (mm) und 2,36 mm
oder insbesondere etwa 1,852 mm. Der Radius **438**
beträgt zwischen 3,617 Millimeter (mm) und 8,189
mm oder insbesondere ungefähr 5,903 mm. Alterna-
tive Ausführungsformen können andere Radiusmaße
enthalten und/oder können einen unteren Haken **422**
enthalten, der lediglich einen einzelnen Radius bein-
hält. In der beispielhaften Ausführungsform beträgt
die Länge der ebenen Fläche **434** zwischen 2,974
Millimeter (mm) und 8,054 mm oder insbesondere
etwa 5,514 mm. Alternative Ausführungsformen kön-
nen eine ebene Fläche mit einer anderen Länge ent-
halten.

[0022] [Fig. 5](#) zeigt eine schematisierte Ansicht eines
beispielhaften Radschwalbenschwanzschlitzes
500, der in dem Laufrad **300** definiert sein kann. In
der beispielhaften Ausführungsform ist der Schlitz
500 in Bezug auf die Mittellinie **402** symmetrisch und
zu dem (in [Fig. 4](#) veranschaulichten) Schaufel-
schwalbenschwanz **400** komplementär gestaltet. In
alternativen Ausführungsformen kann die Lage jedes
nachstehend beschriebenen Elementes in Bezug auf
die Mittellinie **402** verändert sein. Der Schlitz **500**
enthält mehrere Halsübergangsstücke **502**, **504** und
506. Insbesondere enthält der Schlitz **500** in der bei-
spielhaften Ausführungsform einen oberen Halsüber-
gangsabschnitt **502**, einen mittleren Halsübergangs-

abschnitt **504** und einen unteren Halsübergangsabschnitt **506**. Der obere Hals **502** ist mit einem Radius **508** ausgebildet, und der mittlere Hals **504** ist mit einem Radius **510** ausgebildet. In der beispielhaften Ausführungsform sind die Radien **508** und **510** identisch, und jeder beträgt zwischen 1,690 Millimeter (mm) und 2,706 mm oder insbesondere etwa 2,198 mm. In alternativen Ausführungsformen kann der Radius jedes Halses **502** und/oder **504** variieren. Der untere Hals **506** ist mit einem zusammengesetzten Radius **512** und einer ebenen Fläche **514** ausgebildet, die die Unterseite des Schlitzes **500** definiert. In der beispielhaften Ausführungsform enthält der zusammengesetzte Radius **512** zwei Radien **516** und **518**. Insbesondere beträgt der Radius **516** in der beispielhaften Ausführungsform zwischen 1,69 Millimeter (mm) und 2,706 mm oder insbesondere etwa 2,198 mm. Der Radius **518** beträgt zwischen 5,776 Millimeter (mm) und 10,348 mm oder insbesondere etwa 8,062 mm.

[0023] Alternative Ausführungsformen können andere Radiusmaße enthalten oder einen unteren Hals **506** enthalten, der lediglich einen einzelnen Radius enthält.

[0024] In der beispielhaften Ausführungsform enthält der Schlitz **500** ferner mehrere Hakenübergangsstücke **520**, **522** und **524**. Insbesondere enthält der Schlitz **500** in der beispielhaften Ausführungsform einen oberen Haken **520**, einen mittleren Haken **522** und einen unteren Haken **524**. Der mittlere Haken **522** ist mit zwei identischen Radien **526** und einer sich dazwischen erstreckenden ebenen Fläche **528** ausgebildet. In der beispielhaften Ausführungsform beträgt jeder Radius **526** zwischen 1,604 Millimeter (mm) und 2,62 mm oder insbesondere etwa 2,112 mm. Die ebene Fläche **528** beträgt zwischen 0,250 Millimeter (mm) und 3,393 mm oder insbesondere etwa 0,853 mm. Alternative Ausführungsformen können eine oder mehrere ebene Flächen mit einer anderen Länge verwenden. Ferner können alternative Ausführungsformen einen anderen Radius verwenden, oder sie können zwei unterschiedliche Radien verwenden.

[0025] Der untere Haken **524** ist mit zwei identischen Radien **530** und einer sich zwischen diesen erstreckenden ebenen Fläche **532** ausgebildet. In der beispielhaften Ausführungsform beträgt jeder Radius **530** zwischen 0,425 Millimeter (mm) und 1,441 mm oder insbesondere etwa 0,933 mm. Die ebene Fläche **532** beträgt zwischen 0,500 Millimeter (mm) und 3,707 mm oder insbesondere etwa 0,663 mm. Alternative Ausführungsformen können eine oder mehrere ebene Flächen mit einer anderen Länge verwenden. Ferner können alternative Ausführungsformen einen anderen Radius verwenden oder können zwei unterschiedliche Radien verwenden. Der mittlere Haken **522** und der untere Haken **524** sind jeweils derart

geformt, dass sie es ermöglichen, ungefähr gleichmäßig Last aufzunehmen. Der obere Haken **520** enthält einen Radius **534**, der in der beispielhaften Ausführungsform zwischen 1,255 Millimeter (mm) und 5,827 mm oder insbesondere etwa 3,541 mm beträgt. Alternative Ausführungsformen können einen anderen Radius für den oberen Haken **520** verwenden. Der Radius **534** ist ausgewählt, um einen sanften Übergang zwischen dem Schlitz **500** und einer oberen Radoberfläche **536** zu unterstützen.

[0026] In der beispielhaften Ausführungsform, und wie dies in den [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) veranschaulicht ist, enthalten der Schwalbenschwanz **400** und der Schlitz **500** ferner jeweils mehrere Druck- bzw. Stoßflächen **440** und **538** sowie berührungsfreie bzw. Nichtkontaktflächen **442** und **540**. Insbesondere enthält der Schwalbenschwanz **400** in der beispielhaften Ausführungsform mehrere Stoßflächen **440** und mehrere Nichtkontaktflächen **442**. Insbesondere ist jede Stoßfläche **440** auf einer axial und in Umfangsrichtung verlaufenden Ebene orientiert und durch einen Übergang definiert, der zwischen einem Hals **404**, **406** und/oder **408** und einem jeweiligen Haken **418**, **420** und/oder **422** definiert ist. Jede Nichtkontaktfläche **442** ist durch einen Übergang definiert, der zwischen einem Haken **418**, **420** und/oder **422** und einem jeweiligen Hals **404**, **406** und/oder **408** definiert ist. Der Schlitz **500** ist ebenfalls mit mehreren Stoßflächen **538** und mehreren Nichtkontaktflächen **540** ausgebildet. Insbesondere ist jede Stoßfläche **538** auf einer axial und in Umfangsrichtung ausgerichteten Ebene orientiert und durch einen Übergang definiert, der zwischen einem Haken **520**, **522** und/oder **524** und einem Hals **502**, **504** und/oder **506** definiert ist. Jede Nichtkontaktfläche **540** ist durch einen Übergang definiert, der zwischen einem Hals **502**, **504** und/oder **506** und einem jeweiligen Haken **520**, **522** und/oder **524** definiert ist. In der beispielhaften Ausführungsform ist jede Stoßfläche **440** und **538** derart orientiert, dass ein Übergangswinkel **444** und **542**, der zwischen einer Stoßfläche **440** und **538** sowie einer Nichtkontaktfläche **442** und **540** definiert ist, zwischen $50,0^\circ$ und $90,0^\circ$ und insbesondere etwa $70,6^\circ$ beträgt. Ein derartiger Übergangswinkel wird als der Schrägenwinkel bzw. Schrägflächenwinkel bezeichnet. Alternative Ausführungsformen können eine andere Winkelgröße enthalten.

[0027] [Fig. 6](#) zeigt eine schematisierte Ansicht einer beispielhaften Schwalbenschwanzanordnung **600**, die mit der Schaufel **200** und dem Rad **300** verwendet werden kann. Insbesondere veranschaulicht [Fig. 6](#) die Beziehung zwischen den Stoßflächen **440** und **538** des Schaufelschwalbenschwanzes **400** und des Radschwalbenschwanzschlitzes **500**. Außerdem veranschaulicht [Fig. 6](#) die Beziehung zwischen den Nichtkontaktflächen **442** und **540** des Schwalbenschwanzes **400** bzw. des Schlitzes **500**.

[0028] Im Betrieb führt die Rotation des Laufrads **300** dazu, dass in den Laufschaufeln **200** Fliehkräfte erzeugt werden, die anschließend durch die Stoßflächen **440** und **538** zu jeder Schwalbenschwanzanordnung **600** übertragen werden. Derartige Kräfte rufen Spannungen in jeder Schwalbenschwanzanordnung **600** hervor. Es ergibt sich eine konzentrierte Spannungsbelastung, wenn Lastpfade gezwungen sind, ihre Richtung zu ändern. An sich ist bei einer schräg gestellten Stoßfläche, wie beispielsweise bei den Stoßflächen **440** und **538**, die Richtungsänderung weniger schwerwiegend, so dass an sich die resultierende Spannungskonzentration reduziert ist. Zusätzlich ruft ein Schrägenwinkel, wie beispielsweise der Schrägflächenwinkel **444** und **542**, eine Komponente der Kräfte in einer axialen Richtung hervor, die ein Durchbiegen der Laufschaufelplattform **416** verursacht, was eine Spannungskonzentration weiter reduziert. Vorbestimmte Radiuswerte in den Hakenübergangsstücken **418**, **420**, **422**, **520**, **522** und/oder **524** und den Halsübergangsstücken **404**, **406**, **408**, **502**, **504** und/oder **506** mindern weiter Spannungen, die von den durch das Laufrad **300** erzeugten Fliehkräften hervorgerufen werden, indem die Spannungen gleichmäßiger auf jeden der Haken- und Halsübergänge verteilt werden.

[0029] Die vorstehend beschriebenen Verfahren und Vorrichtungen ermöglichen es, lokale Spannungen in Schaufel- und Radhalsübergangsabschnitten, die durch in den Laufschaufeln hervorgerufene hohe Fliehkräfte verursacht werden, auf ein Minimum zu reduzieren. Ein optimierter Schrägenwinkel und optimierte Übergangsradien ermöglichen eine gleichmäßige Verteilung der Last auf die Schwalbenschwanzanordnung, wodurch sich geringere lokale und mittlere Spannungen sowohl in dem Schaufelschwalbenschwanz als auch in dem Radschwalbenschwanzschlitz ergeben. Eine derartige Reduktion der Spannungskonzentration ermöglicht die Aufnahme höherer Fliehkräfte und ergibt eine verbesserte Leistungsabgabe.

[0030] Vorstehend sind beispielhafte Ausführungsformen von Verfahren und Vorrichtungen beschrieben, die eine Minimierung lokaler Spannungen in einer Schwalbenschwanzanordnung ermöglichen. Die Verfahren und Vorrichtungen sind nicht auf die hier beschriebenen speziellen Ausführungsformen beschränkt, so dass vielmehr Komponenten der Verfahren und Vorrichtungen unabhängig und gesondert von den anderen Komponenten, wie sie hier beschrieben sind, genutzt werden können. Beispielsweise kann die Schwalbenschwanzanordnung, wie sie hier zur Verwendung in einem Kraftwerk beschrieben ist, auch in Kombination mit dem Entwurf anderer industrieller Anlagen oder Bauteile und/oder anderen Überwachungssystemen und -verfahren gefertigt und/oder genutzt werden, und sie ist nicht darauf beschränkt, nur im Zusammenhang mit Energieerzeu-

gungsanlagen allgemein oder im speziellen mit Dampfturbinenmaschinen, wie hier beschrieben, ausgeführt zu werden. Vielmehr kann die vorliegende Erfindung in Verbindung mit vielen weiteren Bauteil- oder Anlagengestaltungen und/oder Systemen eingesetzt werden.

[0031] Während die Erfindung anhand verschiedener spezieller Ausführungsformen beschrieben worden ist, wird der Fachmann erkennen, dass die Erfindung in dem Rahmen und Schutzzumfang der Ansprüche mit Modifikationen ausgeführt werden kann.

[0032] Es ist eine Schwalbenschwanzanordnung **600** für eine Turbine **10** geschaffen. Die Schwalbenschwanzanordnung **600** enthält einen Schaufelschwalbenschwanz **400** und einen Radschwalbenschwanzschlitz **500**, der bemessen ist, um den Schaufelschwalbenschwanz aufzunehmen, wobei der Schaufelschwalbenschwanz und der Radschwalbenschwanzschlitz jeweils mehrere Stoßflächen **440**, **538**, mehrere Nichtkontaktflächen **442**, **540** und mehrere Hälse enthalten, die durch einen Übergang von einer Stoßfläche zu einer Nichtkontaktfläche definiert sind, wobei jeder Hals einen Schrägenwinkel **444**, **542** enthält, der eine Verteilung einer im Wesentlichen gleichen Last zwischen dem Schaufelschwalbenschwanz und dem Radschwalbenschwanzschlitz ermöglicht.

Bezugszeichenliste

10	Dampfturbine
12	Niederdruckabschnitt
14	ND-Abschnitt
16	Rotorwelle
18	Düse
20	Düse
22	Äußerer Mantel oder äußeres Gehäuse
24	Unterer Teilabschnitt
26	Teilabschnitt
28	Zentraler Abschnitt
30	Niederdruck-Dampfeinlass
32	Achslager
34	Achslager
40	Strömungsverteiler
50	Dampf
52	Strömungspfad
54	Strömungspfad
140	Rotorwelle
200	Turbinenschaufel
202	Druckseite
204	Saugseite
206	Vorderkante
208	Hinterkante
210	Schaufelblattabschnitt
212	Fuß
220	Spitze
300	Turbinenlaufrad
400	Schwalbenschwanz

402	Radiale Mittellinie
404	Halsübergangsstücke bzw. -abschnitte
406	Mittlerer Halsübergang
408	Unterer Halsübergang
410	Radius
412	Radius
414	Radius
416	Schaufelschwalbenschwanzplattform
418	Oberer Hakenübergang
420	Mittlerer Haken
422	Unterer Haken
424	Zwei identische Radien
426	Ebene Fläche
428	Zwei identische Radien
430	Ebene Fläche
432	Zusammengesetzter Radius
434	Ebene Fläche
436	Zwei Radien
438	Radius
440	Stoßfläche, Druckfläche
442	Berührungsfreie Flächen, Nichtkontaktflächen
444	Schrägenwinkel, Schrägflächenwinkel
500	Schwalbenschwanzschlitz
502	Oberer Halsübergang
504	Mittlerer Halsübergang
506	Unterer Hals
508	Radius
510	Radius
512	Zusammengesetzter Radius
514	Ebene Fläche
516	Radius
518	Radius
520	Oberer Haken
522	Mittlerer Haken
524	Unterer Haken
526	Radius
528	Ebene Fläche
530	Radius
532	Ebene Fläche
534	Radius
536	Obere Radfläche
538	Stoßfläche, Druckfläche
540	Berührungsfreie Fläche, Nichtkontaktfläche
542	Schrägflächenwinkel, Schrägenwinkel
600	Schwalbenschwanzanordnung

Patentansprüche

1. Schwalbenschwanzanordnung (600) für eine Turbine (10), wobei die Schwalbenschwanzanordnung einen Schaufelschwalbenschwanz (400) und einen Radschwalbenschwanzschlitz (500) aufweist, der bemessen ist, um den Schaufelschwalbenschwanz aufzunehmen, wobei der Schaufelschwalbenschwanz und der Radschwalbenschwanzschlitz jeweils mehrere Stoßflächen (440, 538), mehrere Nichtkontaktflächen (442, 540) und mehrere Hälse aufweisen, die durch einen Übergang von einer Stoßfläche zu einer Nichtkontaktfläche definiert sind, wo-

bei jeder Hals einen Schrägflächenwinkel (444, 542) aufweist, der die Verteilung einer im Wesentlichen gleichmäßig verteilten Last zwischen dem Schaufelschwalbenschwanz und dem Radschwalbenschwanzschlitz unterstützt.

2. Schwalbenschwanzanordnung (600) nach Anspruch 1, wobei der Schaufelschwalbenschwanz (400) ferner aufweist:
einen oberen Schaufelhaken (418), der wenigstens zwei Radien (436, 438) und wenigstens eine sich dazwischen erstreckende ebene Fläche (430) aufweist; einen mittleren Schaufelhaken (420), der wenigstens zwei Radien (428) und wenigstens eine sich dazwischen erstreckende ebene Fläche (430) aufweist; und einen unteren Haken (422), der einen zusammengesetzten Radius (432) aufweist.

3. Schwalbenschwanzanordnung (600) nach Anspruch 1, wobei der Schwalbenschwanzschlitz (500) ferner aufweist:
einen oberen Radhaken (520), der einen Radius (526) aufweist; einen mittleren Radhaken (522), der wenigstens zwei Radien (520) und wenigstens eine sich dazwischen erstreckende ebene Fläche (528) aufweist; und einen unteren Radhaken (524), der wenigstens zwei Radien (530) und wenigstens eine sich dazwischen erstreckende ebene Fläche (532) aufweist.

4. Schwalbenschwanzanordnung (600) nach Anspruch 2, wobei jeder Schaufelschwalbenschwanz (400) ferner wenigstens einen Schrägflächenwinkel (444, 542) aufweist, der zwischen einer Stoßfläche (440, 538) der mehreren Stoßflächen und einer Nichtkontaktfläche (442, 540) der mehreren Nichtkontaktflächen definiert ist, wobei der Schrägflächenwinkel ungefähr 70,6° beträgt.

5. Schwalbenschwanzanordnung (600) nach Anspruch 2, wobei jeder derartige Schwalbenschwanzschlitz (500) ferner einen Schrägflächenwinkel (444, 542) aufweist, der zwischen einer Stoßfläche (440, 538) der mehreren Stoßflächen und einer Nichtkontaktfläche (442, 540) der mehreren Nichtkontaktflächen definiert ist, wobei der Schrägflächenwinkel ungefähr 70,6° beträgt.

6. Schwalbenschwanzanordnung (600) nach Anspruch 1, wobei jeder Hals im Hinblick auf eine verbesserte Scherfestigkeit optimiert ist.

7. Dampfturbine (10), die eine Rotoranordnung aufweist, die mehrere Turbinenschaufeln (200) aufweist, die an ein Turbinenrad (300) angekoppelt sind, wobei die mehreren Turbinenschaufeln jeweils ein Schaufelblatt (210) und einen Schwalbenschwanz (400) aufweisen, wobei das Turbinenrad mehrere Schwalbenschwanzschlitze (500) aufweist, die be-

messen sind, um die mehreren Turbinenschaufel-schwalbenschwänze aufzunehmen, wobei jeder Schaufelschwalbenschwanz und jeder Schwalbenschwanzschlitz mehrere Stoßflächen (**440, 538**), mehrere Nichtkontaktflächen (**442, 540**) und mehrere Hälse aufweist, die durch einen Übergang von einer Stoßfläche zu einer Nichtkontaktfläche definiert sind, wobei jeder Hals einen Schrägflächenwinkel (**444, 542**) aufweist, der eine Verteilung einer im Wesentlichen gleichmäßig verteilten Last zwischen dem Schaufelschwalbenschwanz und dem Radschwalbenschwanzschlitz ermöglicht.

8. Dampfturbine (**10**) nach Anspruch 7, wobei jeder Turbinenschaufelschwalbenschwanz (**400**) ferner aufweist:

einen oberen Schaufelhaken (**520**), der wenigstens zwei Radien (**526**) und eine sich zwischen diesen erstreckende ebene Fläche (**528**) aufweist;
einen mittleren Schaufelhaken (**522**), der wenigstens zwei Radien und eine sich zwischen diesen erstreckende ebene Fläche aufweist; und
einen unteren Haken (**524**), der einen zusammengesetzten Radius (**512**) aufweist.

9. Dampfturbine (**10**) nach Anspruch 7, wobei jeder Schwalbenschwanzschlitz ferner aufweist:

einen oberen Radhaken (**418**), der einen Radius (**424**) aufweist;
einen mittleren Radhaken (**420**), der wenigstens zwei Radien (**428**) und eine sich zwischen diesen erstreckende ebene Fläche (**430**) aufweist; und
einen unteren Radhaken (**422**) der wenigstens zwei Radien und eine sich zwischen diesen erstreckende ebene Fläche (**434**) aufweist.

10. Dampfturbine (**10**) nach Anspruch 8, wobei jede Turbinenschaufel (**200**) ferner wenigstens einen Schrägflächenwinkel (**444, 542**) aufweist, der zwischen einer Stoßfläche (**440, 538**) der mehreren Stoßflächen und einer Nichtkontaktfläche (**442, 540**) der mehreren Nichtkontaktflächen definiert ist, wobei der Schrägflächenwinkel ungefähr $70,6^\circ$ beträgt.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

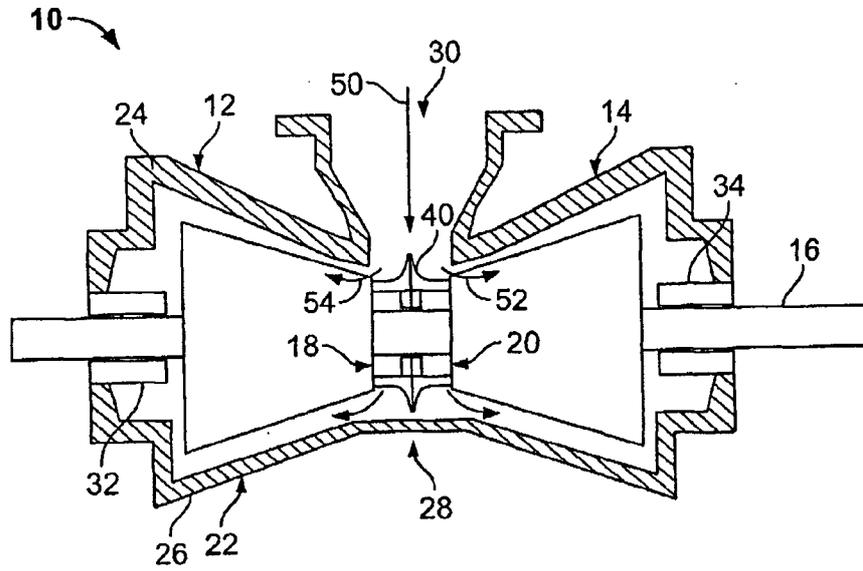


FIG. 1

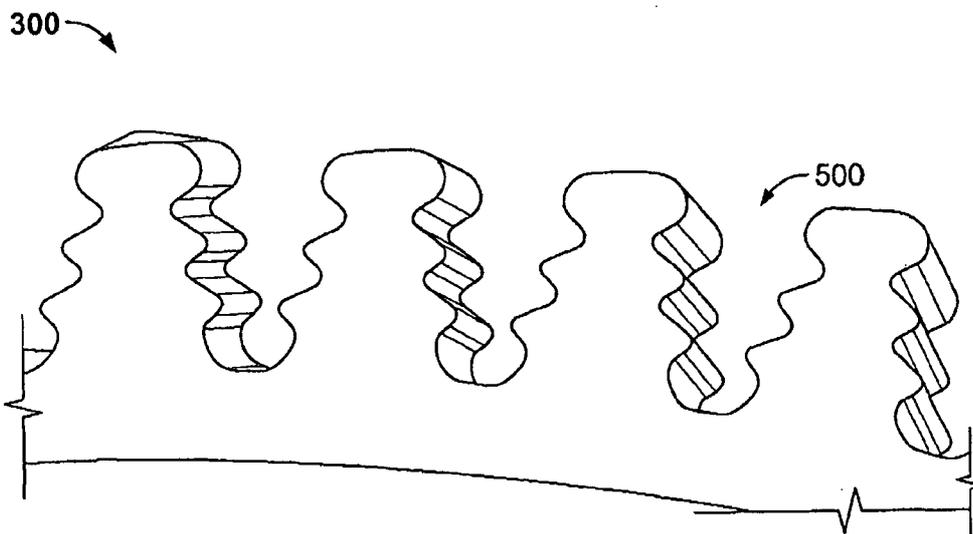


FIG. 3

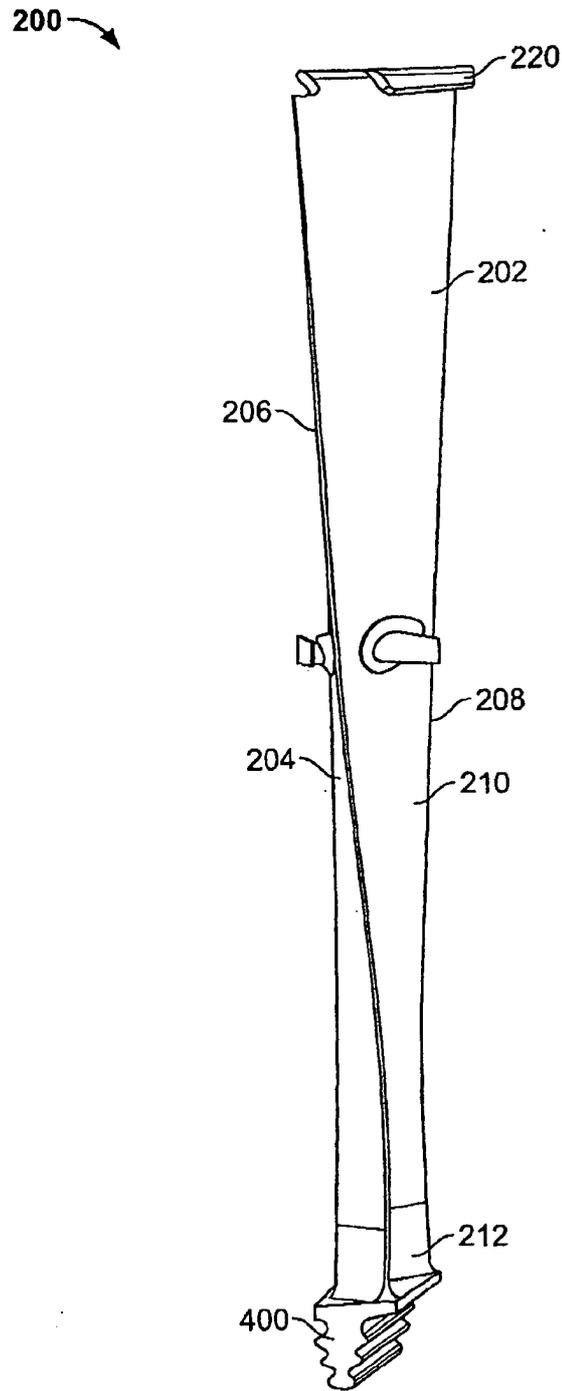


FIG. 2

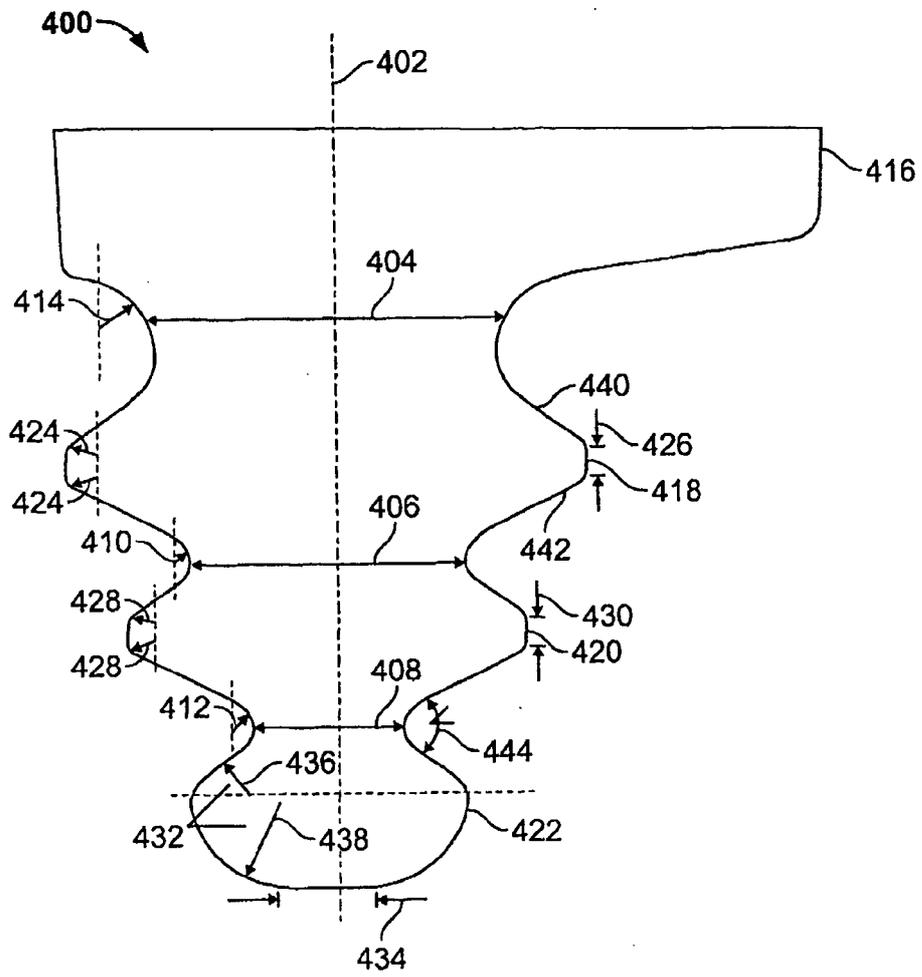


FIG. 4

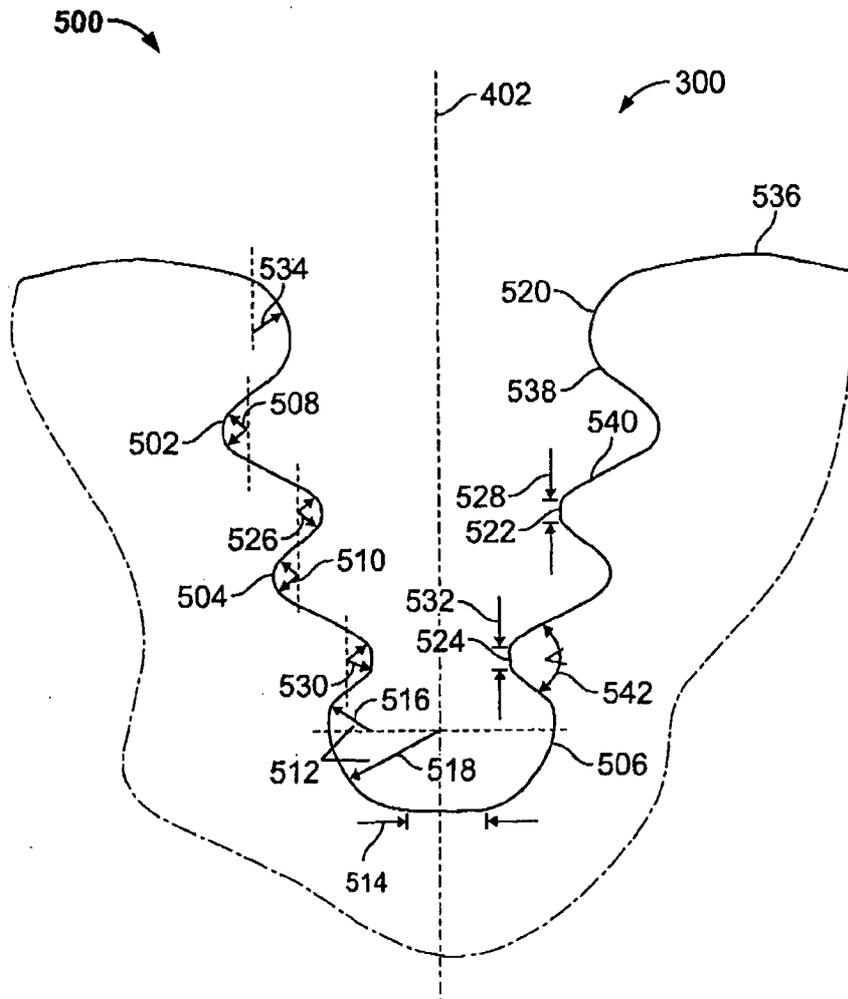


Fig. 5

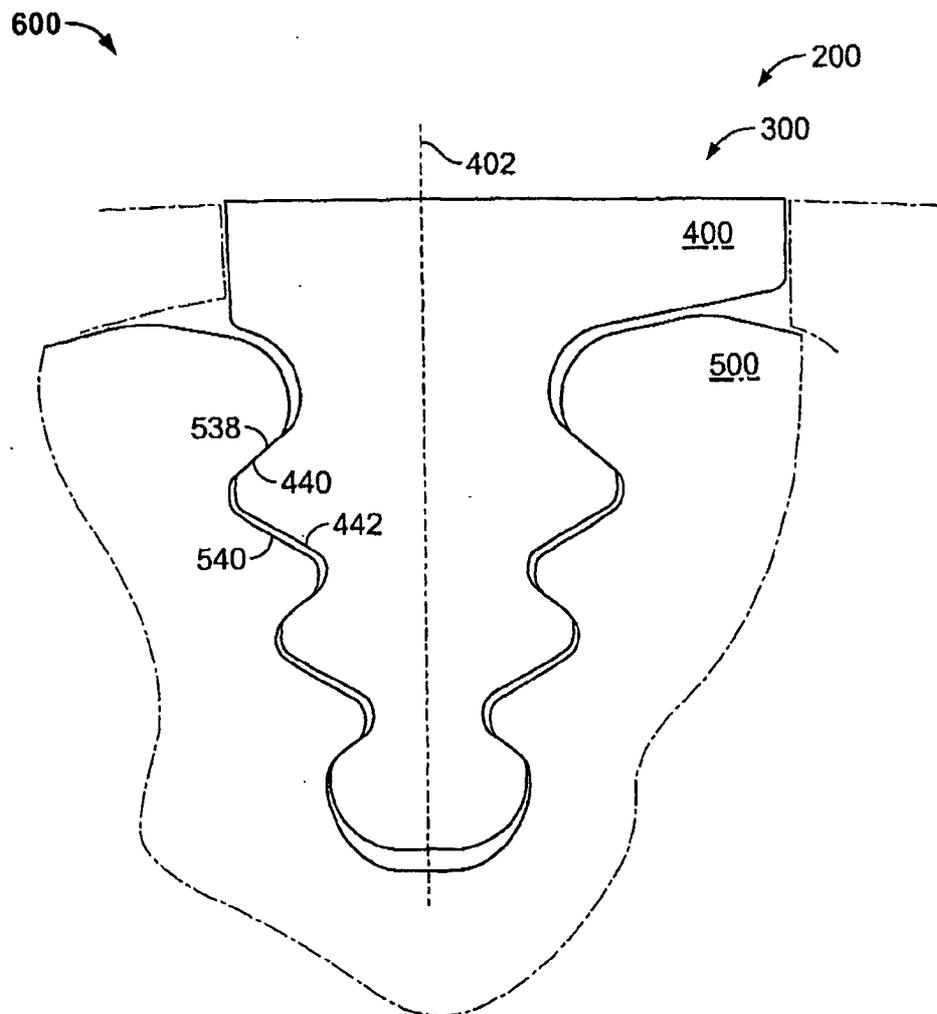


FIG. 6