

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Laufschaufelbefestigung für eine thermische Strömungsmaschine, umfassend einen Laufschaufelträger als Teil eines Rotors der Strömungsmaschine, mit zumindest einer Reihe von umfangsmäßig verteilten, sich schräg zu einer Rotordrehachse erstreckenden Haltenuten für Laufschaufeln, wobei jede Haltenut zwei einander zugewandte und profilierte Rotor-Seitenwände umfasst, die zur Profilierung jeweils zumindest zwei radial beabstandete Rotor-Tragzähne aufweisen, die gemeinschaftlich im Querschnitt senkrecht zur Rotordrehachse betrachtet sich zu einer tannenbaumförmigen Kontur der Haltenut ergänzen und jeweils eine radial nach innen weisende Rotor-Tragflanke umfassen, wobei in jeder Haltenut ein tannenbaumförmiger Schaufelfuß einer Laufschaufel sitzt, dessen jeweilige der jeweiligen Rotor-Seitenwand zugewandte Schaufel-Seitenwand in korrespondierender Anzahl zu den Rotor-Tragzähnen Schaufel-Tragzähne aufweisen, die an ihrer radial nach außen weisenden Fläche Schaufel-Tragflanken umfassen, die zumindest unter Fliehkrafteinwirkung zur Anlage an den entsprechenden Rotor-Tragflanken gelangen.

[0002] Im Stand der Technik ist die eingangs beschriebene Befestigung von Laufschaufeln an Rotorscheiben eines Rotors bestens bekannt. Bekanntermaßen sitzen die eine Tannenbaumform mit mehreren Tragflanken aufweisenden Schaufelfüße in dazu korrespondierend ausgeführten Haltenuten der Rotorscheibe, so dass letztere die aufgrund des Betriebs auf die Laufschaufel wirkenden Fliehkräfte dauerhaft und zuverlässig aufnehmen können. Prinzipiell werden dabei nicht die Tragzähne insgesamt gezählt, sondern nur die radial zueinander benachbarten Tragzähne, so dass aufgrund der häufig gegebenen Symmetrie der Schaufelfüße jede profilierte Seitenwand des Schaufelfußes in entsprechender Anzahl Tragflanken und Tragzähne aufweist.

[0003] Zur Bildung einer Tannenbaumkontur sind somit zumindest zwei radial benachbarte Tragzähne je Seitenwand des Schaufelfußes erforderlich. So ist es aber beispielsweise auch aus der DE 197 05 323 A1 bekannt, dass je Seitenwand des Schaufelfußes vier Tragzähne und somit vier Tragflanken vorhanden sind. Üblicherweise sind dabei die Abstände zwischen den Tragzähnen der Rotorscheibe und die Abstände zwischen den Tragzähnen des Schaufelfußes identisch, so dass unter Betriebsbedingungen diese prinzipiell gleichmäßig belastet erscheinen.

[0004] Es hat sich jedoch gezeigt, dass die Belastungen der auf unterschiedlichen Radien angeordneten Tragzähne der Rotorscheibe ungleich verteilt sind. Um dann eine gewünschte maximale Lebensdauer der Bauteile gewährleisten zu können wurden bisher diese höher belasteten Bereiche massiver ausgestaltet. Dies führte zu einer raumgreifenden Ausgestaltung.

[0005] Des Weiteren besteht das Bedürfnis, bisher existierende Strömungsmaschinen mit neu gestalteten

Turbinenschaufeln ausrüsten zu können, die hinsichtlich Wirkungsgrad und Leistung weiter verbessert sind, die aber keine Mehrbelastung des Rotors hervorrufen, die dessen Lebensdauer verringert.

[0006] Aufgabe der Erfindung ist daher die Bereitstellung einer alternativen eingangs beschriebenen Laufschaufelbefestigung, mit der eine Lebensdauerverlängerung durch andere Maßnahmen als bisher erreicht wird.

[0007] Die auf die Erfindung gerichtete Aufgabe wird durch eine Laufschaufelbefestigung gemäß den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen angegeben, die in beliebiger Weise miteinander kombiniert werden können.

[0008] Gemäß der Erfindung wird für die eingangs genannte Laufschaufelbefestigung vorgeschlagen, dass diese so konstruiert ist, dass im fliehkraftlosen Zustand bei zumindest einer Haltenut-Schaufel-Paarung, vorzugsweise jedoch bei allen Haltenut-Schaufel-Paarungen einer Reihe, zumindest eine Seitenwand-Paarung, vorzugsweise bei beiden Seitenwand-Paarungen, der radial erfassbare Abstand der Rotor-Tragflanken geringfügig kleiner ist als der korrespondierende radiale Abstand der Schaufel-Tragflanken. Das bedeutet, dass im Stillstand, also bei einer Drehzahl von Null Hertz, bei zumindest einer der radial benachbarten Tragflanken-Paarungen ein vergleichsweise kleiner Spalt existieren kann, wohingegen bei zumindest einer anderen der radial benachbarten Tragflanken-Paarung kein Spalt existiert.

[0009] Dabei sind die vergleichsweise kleinen Spalte so gewählt, dass unter Betriebsbedingungen, wenn also zentrifugale, thermische sowie aerodynamische Belastungen auf die Laufschaufeln einwirken, diese geschlossen werden, so dass alle Tragflanken der Haltenut-Schaufel-Paarung die auf die Laufschaufeln wirkenden Kräfte in den Laufschaufelträger einleiten können. Der individuelle Anteil von der Gesamtbelastung jeder Tragflanken-Paarung ist durch die individuelle Größe des Spalts anpassbar. Erfindungsgemäß wird die Spaltgröße so gewählt, dass die Lastverteilung in den unterschiedlichen Rotor-Hohlkehlen, welche sich an den Rotor-Tragzähnen radial weiter innen anschließen, soweit ausgeglichen sind, dass alle in etwa das gleiche Niveau erreichen. Gleiches gilt selbstverständlich für die unterschiedlichen Schaufel-Hohlkehlen des Schaufelfußes, welche sich an die betreffenden Schaufel-Tragflanken radial weiter außen anschließen. Unter Anwendung dieses Prinzips werden die ungleichmäßigen Lastniveaus in den unterschiedlichen Rotor-Hohlkehlen und die ungleichmäßigen Lastniveaus in den unterschiedlichen Schaufel-Hohlkehlen jeweils vergleichmäßig und auf ein insgesamt geringeres Niveau reduziert, was lokale Überbelastung verringert. Durch die Verringerung der maximalen auftretenden Belastung kann die Lebensdauer des Schaufelfußes und auch des Laufschaufelträgers weiter verbessert oder, im Falle der Verwendung von schweren Laufschaufeln, aufrechterhalten werden.

[0010] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen sind in

den Unteransprüchen angegeben.

[0011] Besonders bevorzugt ist diejenige Ausgestaltung, bei der je Seitenwand zumindest drei Tragzähne vorgesehen sind und die Abstände zwischen den beiden äußeren Rotor-Tragflanken der beiden Haltenut-Seitenwände genauso groß ist wie die Abstände zwischen den beiden äußeren Schaufel-Tragflanken und bei der für jede Haltenut-Seitenwand der Abstand zwischen den beiden inneren Rotor-Tragflanken jeweils geringfügig kleiner sind als der entsprechende radiale Abstand zwischen den beiden inneren Schaufel-Tragflanken.

[0012] Gemäß dieser Lehre wird vorzugsweise vorgeschlagen, den Spalt zwischen Schaufel-Tragflanken und Rotor-Tragflanken eher an denjenigen Tragflanken-Paarungen vorzusehen, die auf einem kleineren Radius liegen, bezogen auf die Rotationsachse des Rotors. Die auf einem größeren Radius liegenden Tragflanken-Paarungen können diesbezüglich somit spaltfrei ausgeführt sein, da es sich herausgestellt hat, dass bei konventionellen Laufschaufelbefestigungen bisher die inneren Tragflanken derartig hohe Lasten übertrugen, dass deren dazu benachbarten Hohlkehlen besonders mechanisch belastet wurden. Insofern wird mit Hilfe der vorgeschlagenen, bevorzugten Ausgestaltung die Belastung der bisher höchstbelasteten Hohlkehlen verringert. Weiter kann diese Ausführungsform das Schwingungsverhalten der Laufschaufel auch während des Hochfahrens der Strömungsmaschine verbessern, da die Laufschaufeln dann um den definierten Einspannpunkt - den spaltfreien Tragflanken-Paarungen - schwingt, was ein Schwingen der Laufschaufel mit einer nicht zulässigen Eigenfrequenz verhindert.

[0013] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung sind die Tragflanken im Querschnitt betrachtet geradlinig ausgestaltet und schließen mit der Radialrichtung jeweils einen Winkel ein, der für alle Tragflanken zumindest einer Haltenut-Schaufel-Paarung, vorzugsweise aller Haltenut-Schaufel-Paarungen identisch ist.

[0014] Der erfindungsgemäße Spalt bei zumindest einer Tragflanken-Paarung eines Schaufelfußes ist verhältnismäßig klein. So kann es sein, dass der Abstand zwischen den Schaufel-Tragflanken beispielsweise 50 mm beträgt und der Abstand der betreffenden Rotor-Tragflanken dagegen lediglich um einige Hundertstel mm verringert ist. Da üblicherweise die Schaufelüße und insbesondere deren Tragflanken mit einer Genauigkeit von bis zu ein oder zwei Hundertstel Millimetern gefertigt werden, liegt der erfindungsgemäße, nominale Spalt in der Größenordnung von etwa 0,05 mm. Bei einem Schaufel-Tragflankenabstand von 50 mm würde somit das Nominalmaß für den Tragflankenabstand der erfindungsgemäß ausgestalteten Haltenut einen Wert von 49,95 mm aufweisen.

[0015] Insgesamt betrifft die Erfindung somit eine Laufschaufelbefestigung für eine thermische Strömungsmaschine, umfassend einen Laufschaufelträger mit daran angeordneten Laufschaufeln, die über bekannte tannenbaumförmige Formschlüsse am Laufschaufelträger in

entsprechend geformten Haltenuten befestigt sind. Um eine Laufschaufelbefestigung mit verlängerter Lebensdauer angegeben werden, wird vorgeschlagen, dass die Tannenbaumkontur der Haltenut und die Tannenbaumkontur des Laufschaufelfußes derart aufeinander abgestimmt sind, dass im fliehkraftlosen Zustand bei radial benachbarten Paarungen von Tragflanken zumindest eine Paarung spaltfrei aneinander liegt und bei zumindest einer der Paarungen von Tragflanken die Tragflanken der betreffenden Paare unter einem Spalt gegenüber liegen, dessen Spaltmaß jedoch so gewählt ist, dass unter Fliehkrafteinwirkung bei allen Tragflanken-Paarungen die jeweiligen Tragflanken spaltfrei und somit lastübertragend in Kontakt sind.

[0016] Weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung werden anhand eines Ausführungsbeispiels in der nachfolgenden Figurenbeschreibung näher erläutert.

[0017] Es zeigen schematisch:

Figur 1 als Draufsicht einen Ausschnitt auf einen Laufschaufelkranz einer thermischen Strömungsmaschine,

Figur 2 eine Haltenut für Laufschaufeln des Laufschaufelkranzes in einer perspektivischen Darstellung,

Figur 3 die perspektivische Darstellung eines Laufschaufelfußes der Laufschaufel,

Figur 4, 5 das mechanische Prinzip am Beispiel einer tannenbaumförmigen Schaufelbefestigung mit drei Tragflankenpaarungen im unbelasteten Zustand und im fliehkraftbelasteten Zustand.

[0018] In allen Figuren sind identische Merkmale mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

[0019] Figur 1 zeigt eine Laufschaufelbefestigung 10 für eine thermische Strömungsmaschine. Die thermische Strömungsmaschine kann beispielsweise als Gasturbine oder auch als Dampfturbine ausgestaltet sein. Die Laufschaufelbefestigung umfasst einen Laufschaufelträger 12 der bei Gasturbinen beispielsweise als Rotor-scheibe ausgestaltet ist, bei Dampfturbinen sind die Rotoren und somit die Laufschaufelträger zumeist als geschweißte Trommeln ausgestaltet. Mithin sind die Laufschaufelträger 12 Teil des Rotors besagter Strömungsmaschinen. Der Laufschaufelträger ist um eine Rotordrehachse 14 drehbar gelagert. Längs des Außenumfangs 16 des Laufschaufelträgers 12 sind in gleichmäßigen Abständen Haltenuten 18 angeordnet, von denen im gezeigten Ausführungsbeispiel zwei dargestellt sind. Die Haltenuten 18 weisen eine Kontur auf, die als Tannenbaumform bezeichnet werden kann. In den Haltenuten 18 sitzen Schaufelfüße 20, die zumeist monolithischer Bestandteil der Laufschaufeln 22 sind. Gemäß dem hier gezeigten Ausführungsbeispiel umfassen die

Laufschaufeln 22 des Weiteren jeweils einen Schaufelhals 24, eine quer dazu angeordnete Plattform 26 und ein hier nur teilweise dargestelltes Schaufelblatt 25. Das Schaufelblatt 25 ist in bekannter Weise aerodynamisch profiliert und dient zur Umlenkung eines Heißgases oder Arbeitsmediums der Strömungsmaschine, um so die im Arbeitsmedium enthaltene Energie in die Rotationsbewegung des Laufschaufelträgers 12 und somit des Rotors umzuwandeln. Die Plattformen 26 dienen in der Regel zur Begrenzung des Strömungsfades des Arbeitsmediums.

[0020] Während des Betriebs der Strömungsmaschine und somit bei Rotation des gesamten Rotors einschließlich der Laufschaufeln 22 treten Fliehkräfte in den Laufschaufeln 22 auf, die durch die tannenbaumförmige Befestigung des Schaufelfußes 20 in den Haltenuten 18 vom Schaufelträger 12 übernommen werden. Der Kraftfluss ist in Figur 1 schematisch durch die Kraftflusslinien 28 dargestellt.

[0021] Figur 2 zeigt eine der Haltenuten 18 der Laufschaufelbefestigung 10 in einer perspektivischen Darstellung im Detail. Die Haltenut 18 umfasst im Wesentlichen zwei einander zugewandte, profilierte Seitenwände, die nachfolgend als Rotor-Seitenwände 30 bezeichnet werden. Beide Rotor-Seitenwände 30 sind über einen Nutgrund 32 miteinander verbunden. Zur Ausbildung der Profilierung der Rotor-Seitenwände 30 umfasst jede Rotor-Seitenwand 30 Tragzähne, wobei zur Ausbildung einer tannenbaumförmigen Kontur je Rotor-Seitenwand 30 mindestens zwei Tragzähne vorhanden sein müssen. Im gezeigten Ausführungsbeispiel sind drei Tragzähne vorhanden, die nachfolgend aufgrund ihrer Zugehörigkeit zum Laufschaufelträger 12 nachfolgend als Rotor-Tragzähne 34 bezeichnet werden. In jeder Rotor-Seitenwand 30 befinden sich somit drei Rotor-Tragzähne 34, die im Bezug auf die Rotordrehachse 14 auf unterschiedlichen Radien angeordnet sind. Damit diese drei Rotor-Tragzähne 34 unterschieden werden können, werden nachfolgend deren Bezugszeichen gegebenenfalls durch Indices ergänzt. Die Indices sind dabei "OD", "MID" und "ID", welche als "Outer Diameter", "Mediate Diameter" und "Inner Diameter" verstanden werden können. Jede der Rotor-Tragzähne 34 weist eine radial nach innen weisende Tragflanke auf, die nachfolgend auch als Rotor-Tragflanke 36 bezeichnet wird. Auch die Rotor-Tragflanken 36 werden nachfolgend bei Bedarf mit den oben erwähnten Indices individuell identifiziert. Die Rotor-Tragflanken 36 sind im Querschnitt senkrecht zur Rotordrehachse 14 gesehen geradlinig ausgestaltet, so dass sie als dreidimensionales Element eine ebene Fläche umfassen, an denen der Schaufelfuß 20 zur Anlage gelangen kann. Gemäß Figur 2 sind je Rotor-Seitenwand 30 zwei Abstände R zwischen den auf unterschiedlichen Radien liegenden Rotor-Tragflanken 36. Ein erster Abstand R_{OD-MID} wird zwischen den in der Regel parallel zueinander ausgerichteten Rotor-Tragflanken 36_{OD} und Rotor-Tragflanken 36_{MID} erfasst, der zweite radiale Abstand R_{OD-ID} wird zwischen den beiden Rotor-Tragflan-

ken 36_{OD} und 36_{ID} ermittelt.

[0022] Für die in Figur 2 links dargestellte Rotor-Tragflanke 36_{ID} ist der geradlinige Abschnitt als Bereich 38 bezeichnet, was exemplarisch für alle Rotor-Tragflanken 36 zu verstehen ist. Sowohl die Rotor-Tragflanken 36 als auch die Schaufel-Tragflanken 46 sind jeweils für die unterschiedlichen Radien OD, MID und ID jeweils parallel ausgerichtet.

[0023] Jede Rotor-Tragflanke 36 geht über eine dazu radial innen benachbarte Rotor-Hohlkehle 37 in die radial weiter innen benachbarte Rotor-Tragflanke 36 über, wobei für die innerste Rotor-Tragflanke 36_{ID} die Rotor-Hohlkehle 37_{ID} in den Nutgrund 32 überleitet. Auch die Bezugszeichen der Rotor-Hohlkehlen 37 weisen bei Bedarf die bereits erwähnten Indices zur eindeutigen Identifizierung auf.

[0024] Korrespondierend zur Haltenut 18 zeigt Figur 3 den Laufschaufelfuß 20 der Laufschaufel 22 in perspektivischer Darstellung. Analog zur Tannenbaumkontur der Haltenut 18 ist der Schaufelfuß 20 ebenso tannenbaumförmig ausgestaltet mit zwei einander gegenüberliegenden, nicht ebenen, sondern profilierten Schaufel-Seitenwänden 40. Jede Schaufel-Seitenwand 40 ist aufgrund des Vorhandenseins von Schaufel-Tragzähnen 44 profiliert ausgestaltet, so dass alle Schaufel-Tragzähne 44 gemeinschaftlich die tannenbaumförmige Kontur des Schaufelfußes 20 erzeugen. Die Schaufel-Tragzähne 44 weisen jeweils an ihren nach radial außen weisenden Flächen in einem Querschnitt senkrecht zur Rotordrehachse 14 gesehen einen gradlinigen Bereich 48 auf, analog zur Haltenut 18 werden in dieser Anmeldung die Schaufel-Tragzähne 44 sowie die Schaufel-Tragflanken 46 zur individuellen Benennung gegebenenfalls mit den bereits erwähnten Indices versehen, in Abhängigkeit ihrer Lage in Bezug auf die Rotordrehachse 14. Je Schaufel-Seitenwand 40 sind die beiden inneren Schaufel-Tragflanken 46_{MID} und 46_{ID} von der Schaufel-Tragflanke 46_{OD} beabstandet. Ein erster Abstand zwischen der Schaufel-Tragflanke 46_{OD} und Schaufel-Tragflanke 46_{MID} ist mit dem Abstand S_{OD-MID} bezeichnet, wohingegen der Abstand der Schaufel-Tragflanke 46_{OD} zur Schaufel-Tragflanke 46_{ID} durch den Abstand S_{OD-ID} bezeichnet wird.

[0025] Weiter sei bemerkt, dass wenn nachfolgend lediglich von Tragflanken die Rede ist, dann sowohl die Rotor-Tragflanke als auch die Schaufel-Tragflanke darunter zu verstehen ist. Gleiches gilt für die Tragzähne.

[0026] Die Schaufel-Tragflanken 46 sind über Schaufel-Hohlkehlen 47 miteinander verbunden, wobei zwischen den beiden Schaufel-Hohlkehlen 47_{ID} des Schaufelfußes 20 lokal ein minimal tragender Querschnitt Q des Schaufelfußes 20 vorhanden ist, den es ebenso radial etwas außerhalb der Rotor-Tragzähne 44_{MID} gibt. Dementsprechend existieren drei lokal minimale Querschnitte Q_{ID} , Q_{MID} und Q_{OD} .

[0027] Gemäß der Erfindung ist zumindest einer der beiden Abstände R der Rotor-Tragflanken 36 geringfügig kleiner als der korrespondierende Schaufelabstand S der

zwischen den auf gleichen Radien liegenden Schaufel-Tragflanken 46.

[0028] Mit anderen Worten:

$$R_{OD-MID} = S_{OD-MID} - A$$

oder/und

$$R_{OD-ID} = S_{OD-ID} - B$$

[0029] Bei in der Haltenut 18 eingesetztem Schaufelfuß 20 wird im Sinne der Anmeldung von einer Haltenut-Schaukel-Paarung 49 gesprochen, wobei die einander gegenüberliegenden Rotor-Seitenwände 30 und Schaufel-Seitenwände 40 als Seitenwand-Paarung 50 bezeichnet wird und wobei die jeweils einander gegenüberliegenden Rotor-Tragflanken 36 und Schaufel-Tragflanken 46 als Tragflanken-Paarung 56 bezeichnet werden. Die Paarungen 49, 50, 56 sind in FIG 1 dargestellt, wobei insbesondere die Tragflanken-Paarungen jeweils auch mit den bereits definierten Indices individuell identifiziert werden können.

[0030] Es ist dabei zu erwähnen, dass die Abstände R der Rotor-Tragflanken 36 und die Abstände S der Schaufel-Tragflanken 46 in der Regel bis auf Hundertstel Millimeter genau gefertigt werden und dass die Differenz der Abstände S, R zwischen Schaufel-Tragflanken 46 und Rotor-Tragflanken 36 im Bereich dieser Größenordnung liegen. Mit anderen Worten:

$$\text{Es gilt: } A, B < 1 \text{ mm.}$$

[0031] Gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung, welches in FIG 4 und FIG 5 dargestellt ist, sind die Abstände S_{OD-MID} und S_{OD-ID} für beide Seitenwand-Paarungen 50 so gewählt, dass sie geringfügig größer sind als die Abstände R_{OD-MID} bzw. R_{OD-ID} . Beispielsweise können die Schaufelabstände S_{OD-MID} und S_{OD-ID} jeweils um 0,08 mm größer sein als die dazugehörigen Rotorabstände R_{OD-MID} bzw. R_{OD-ID} . Dies verdeutlicht die FIG 4, wobei hier zu erwähnen ist, dass diese besagten Abstände S, R im betriebslosen und somit fliehkraftlosen Zustand auftreten. Aufgrund der erfindungsgemäßen Abstände S, R ergibt sich für die Tragflanken-Paarung 56_{MID} bei spaltfrei aneinanderliegenden Tragflanken 36_{OD}, 46_{OD} einen Spalt 60_{MID} zwischen der Tragflanke 36_{MID} und Schaufel-Tragflanke 46_{MID} sowie für die und Tragflanken-Paarung 56_{ID} einen Spalt 60_{ID} zwischen der Rotor-Tragflanke 36_{ID} und Schaufel-Tragflanke 46_{ID}. Die Größe der Spalte 60 ist weiter oben als A bzw. B definiert.

[0032] FIG 5 zeigt das mechanische Prinzip desselben Ausführungsbeispiels, nun jedoch unter Fliehkrafteinwir-

kung. Aufgrund der auf die Laufschaufel 22 einwirkenden Flieh- und Strömungskräfte dehnt sich das Material der Schaufel 22 und insbesondere des Schaufelfußes 20 elastisch, so dass bei allen Tragflanken-Paarungen 56 der erfindungsgemäß ausgestalteten Haltenut-Schaukel-Paarung 49 der im fliehkraftlosen Zustand ggf. existierende Spalt 60_{MID} bzw. 60_{OD} verschwunden ist, so dass sich der in FIG 1 gezeigte Kraftfluss ergibt.

[0033] Bezogen auf einen Laufschaufelkranz sind selbstverständlich alle Seitenwand-Paarungen 56 aller Haltenut-Schaukel-Paarungen 49 wie voran beschrieben identisch abgestimmt.

[0034] Aufgrund der gewählten Maße für die Anstände S und R kann die in den Schaufelfüßen 20 auftretenden mechanischen Belastungen im Bereich der lokalen minimalen Querschnitte Q_{ID} und Q_{MID} verringert werden, wodurch im Schaufelfuß 20 eine Vergleichmäßigung der Belastung eintritt. Gleichzeitig treten im Laufschaufelträger 12 in den Hohlkehlen 37_{ID} und 37_{MID} ebenso lokale Entlastungen auf. Beide Entlastungen können zu einer verbesserten Lebensdauer oder zu einer insgesamt höheren Belastbarkeit bei gleichbleibender Lebensdauer führen.

[0035] Die Verringerung der lokalen Belastung an den angegebenen Orten und somit der individuelle Anteil der gesamten Last für jede Tragflanken-Paarung 56 kann durch die Größe des individuellen Tragflankenspalts 60 eingestellt werden. In der Regel sind die Spalte 60 so zu wählen, dass das Belastungsniveau in den hohlkehlförmigen Übergängen zwischen den Tragzähnen 44 vergleichmäßig werden können und somit die absolut maximale Amplitude abgesenkt werden kann, was eine lokale Überbelastung reduziert.

[0036] Die Erfindung wurde bisher anhand eines einzigen Ausführungsbeispiels exemplarisch erläutert. Jedoch ist es gemäß einer alternativen Ausführung beispielsweise möglich, dass bei einer tannenbaumartigen Laufschaufelbefestigung mit auf drei unterschiedlichen Radien liegenden Tragflanken-Paarungen 56 nur die radial innerste Tragflanken-Paarung 56_{ID} den Spalt 60 aufweist, während die beiden äußeren Tragflanken-Paarungen 56_{OD} und 56_{MID} spaltfrei sind. Gemäß einem anderen, ebenso wenig einschränkenden Beispiel ist es möglich, dass jede Haltenut-Schaukel-Paarung 49 einer Laufschaufelbefestigung 10 mehr als drei radial benachbarte Tragflanken-Paarungen 56 je Seitenwand-Paarung 50 aufweist. Beispielsweise bei Dampfturbinen sind häufig auch Tannenbäume mit vier oder fünf Tragflanken-Paarungen 56 je Seitenwand 30, 40 bekannt und auch üblich.

[0037] Obwohl die Erfindung im Detail durch die bevorzugten Ausführungsbeispiele näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen.

Patentansprüche

1. Laufschaufelbefestigung (10) für eine thermische Strömungsmaschine,
umfassend einen Laufschaufelträger (12) als Teil eines Rotors der Strömungsmaschine mit zumindest einer Reihe von umfangsmäßig verteilten, sich schräg zu einer Rotordrehachse (14) erstreckenden Haltenuten (18) für Laufschaufeln (22),
wobei jede Haltenut (18) zwei einander zugewandte, profilierte Rotor-Seitenwände (30) umfasst, die zur Profilierung jeweils zumindest zwei radial beabstandete Rotor-Tragzähne (34) aufweisen, die gemeinschaftlich im Querschnitt senkrecht zur Rotordrehachse (14) betrachtet sich zur einer tannenbaumförmigen Kontur der Haltenut (18) ergänzen und jeweils eine radial nach innen weisende Rotor-Tragflanke (36) umfassen,
wobei in jeder Haltenut (18) ein tannenbaumförmiger Schaufelfuß (20) eine der Laufschaufeln (22) unter Bildung einer Haltenut-Schaukel-Paarung (49) sitzt, dessen jeweilige der jeweiligen Rotor-Seitenwand (30) zugewandte Schaufel-Seitenwand (40) unter Bildung einer Seitenwand-Paarung (50) in korrespondierender Anzahl zu den Rotor-Tragzähnen (34) Schaufel-Tragzähne (44) aufweisen, die an ihrer radial nach außen weisenden Fläche Schaufel-Tragflanken (46) unter Bildung von Tragflanken-Paarungen (56) in entsprechenden Anzahl umfassen, so dass unter Fliehkrafteinwirkung zur Anlage an den entsprechenden Rotor-Tragflanken (36) gelangen, **dadurch gekennzeichnet, dass**
im fliehkraftlosen Zustand bei zumindest einer Haltenut-Schaukel-Paarung (56), vorzugsweise bei allen Haltenut-Schaukel-Paarungen (56), einer Reihe zumindest eine Seitenwand-Paarung (50), vorzugsweise bei beiden Seitenwand-Paarungen (50), der Abstand (R) der Rotor-Tragflanken (36) kleiner ist als der Abstand (S) der Schaufel-Tragflanken (46).
40
2. Laufschaufelbefestigung (10) nach Anspruch 1, bei der je Seitenwand (30, 40) zumindest drei Tragzähne (34, 44) vorgesehen sind, und der Abstände (R_{OD-MID}) zwischen den beiden äußeren Rotor-Tragflanken (36_{OD} , 36_{MID}) der beiden Haltenut-Seitenwände (30) genau so groß ist wie die Abstände (S_{OD-MID}) zwischen den beiden betreffenden äußeren Schaufel-Tragflanken (46_{OD-MID}) und bei der für jede Haltenut-Seitenwand (30) der Abstand (R_{MID-ID}) zwischen den beiden inneren Rotor-Tragflanken (36_{MID} , 36_{ID}) geringfügig kleiner ist als der Abstand (S_{MID-ID}) zwischen den beiden inneren Schaufel-Tragflanken (46_{MID} , 46_{ID}).
45
3. Laufschaufelbefestigung (10) nach Anspruch 1 oder 2, bei der die Tragflanken (36, 46) im Querschnitt betrachtet geradlinig ausgestaltet sind und mit der Ra-
55

dialrichtung jeweils einen Winkel einschließen, der für alle Tragflanken (36, 46) zumindest einer Haltenut-Schaukel-Paarung (49), vorzugsweise aller Haltenut-Schaukel-Paarungen (49), identisch ist.

FIG 1

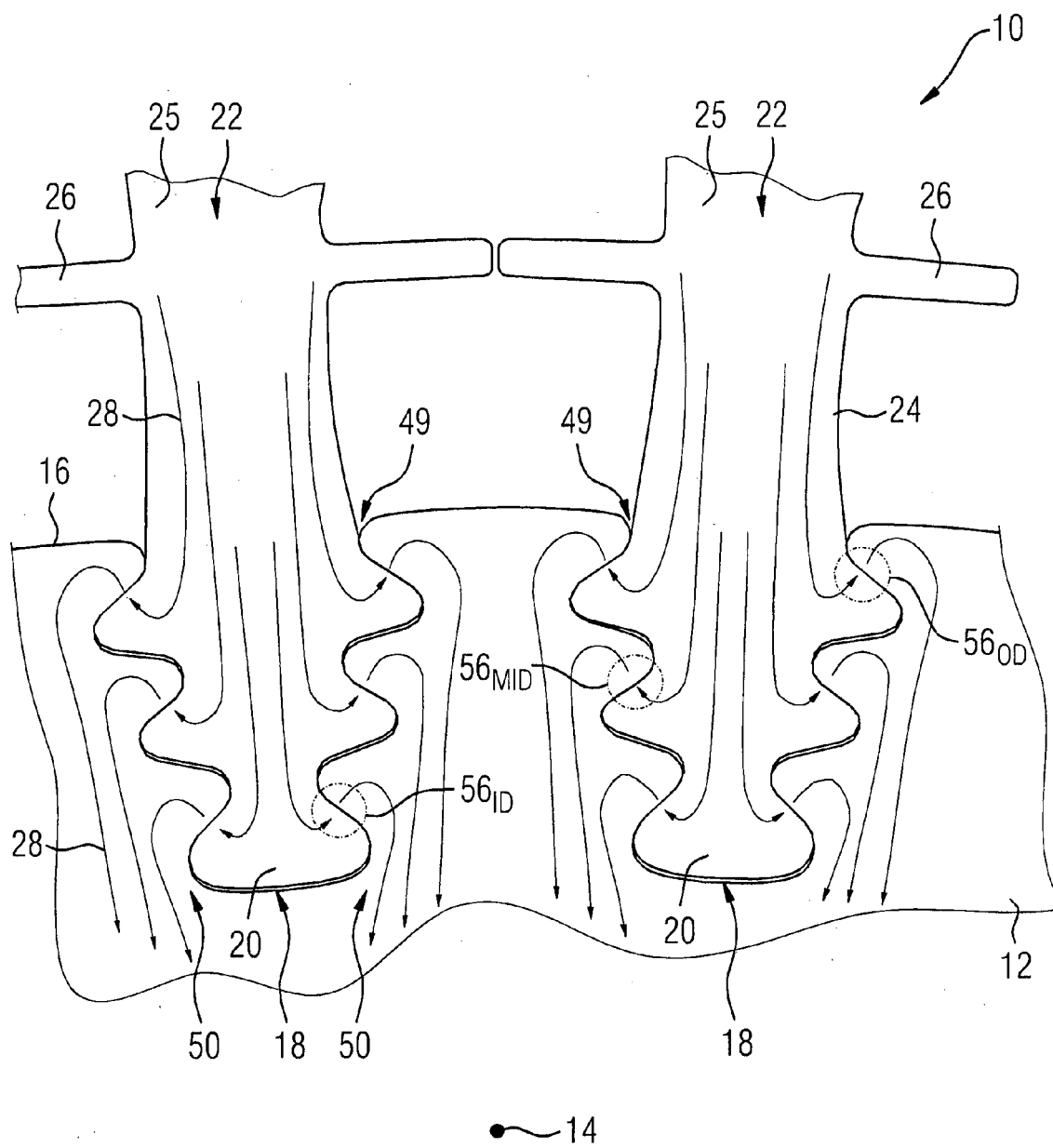


FIG 2

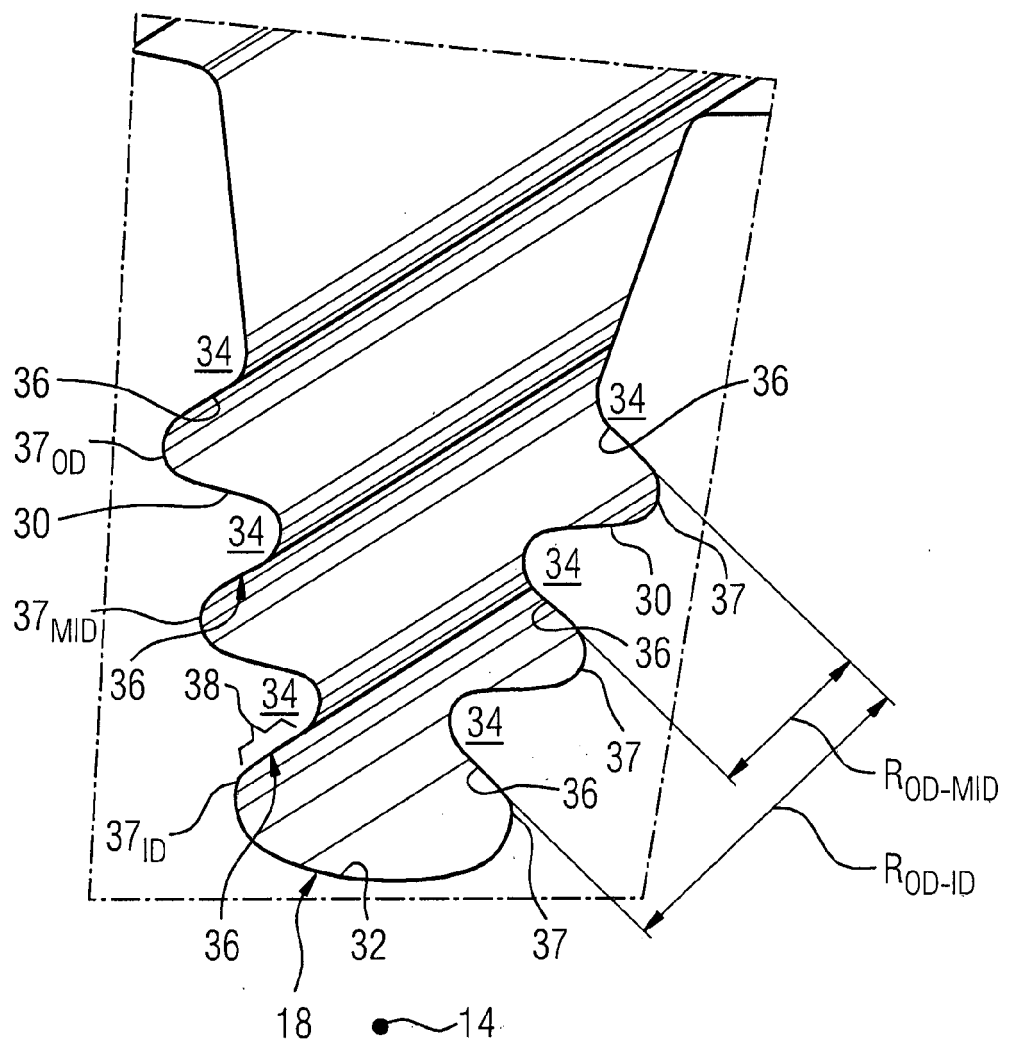


FIG 3

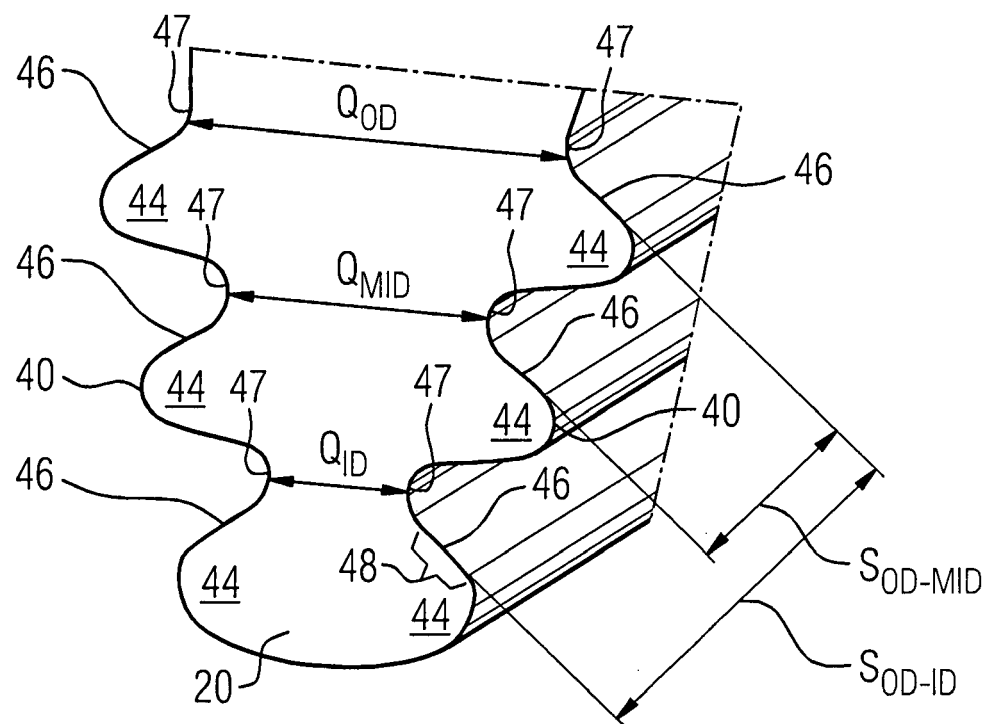


FIG 4

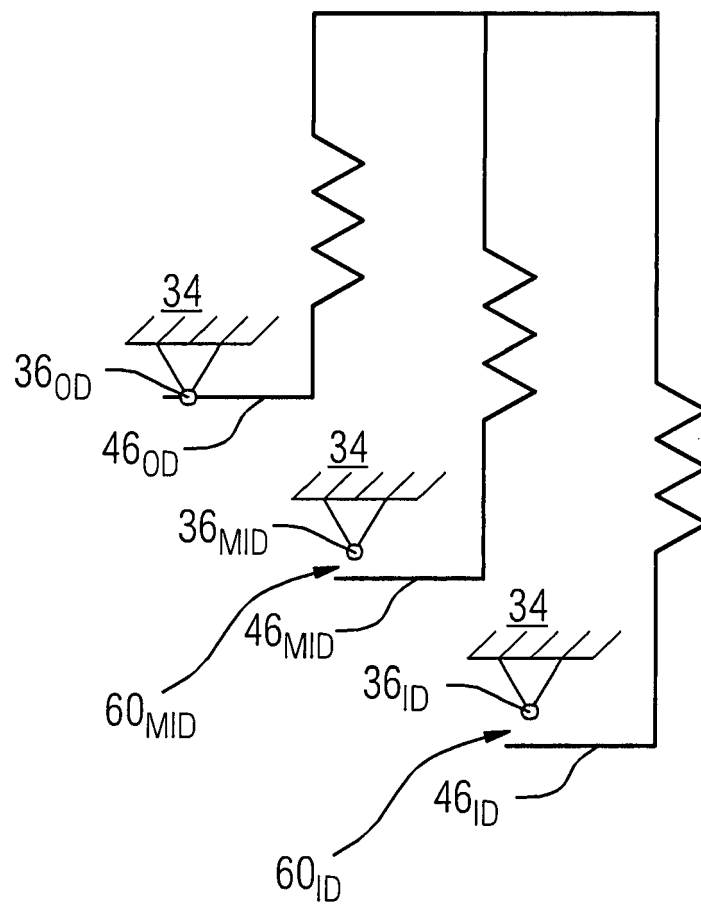
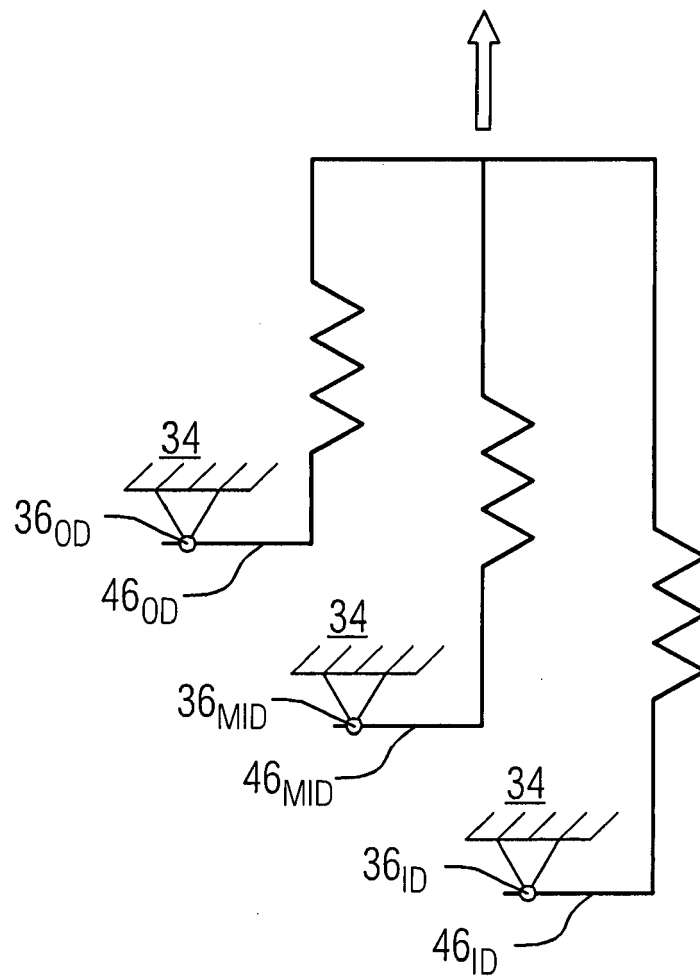


FIG 5





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
 EP 15 15 1471

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	EP 2 322 764 A1 (SIEMENS AG [DE]) 18. Mai 2011 (2011-05-18) * Absätze [0033] - [0036]; Abbildung 2 *	1-3	INV. F01D5/30
X	US 2012/283994 A1 (DUONG LOC QUANG [US] ET AL) 8. November 2012 (2012-11-08) * Absätze [0042] - [0047], [0078] - [0081]; Abbildungen 6A, 6B *	1-3	
X	EP 0 431 766 A1 (ROLLS ROYCE PLC [GB]) 12. Juni 1991 (1991-06-12) * Seite 6, Zeile 29 - Seite 8, Zeile 2; Abbildung 3 *	1	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F01D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 23. Juni 2015	Prüfer Pileri, Pierluigi
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.92 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 15 15 1471

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

23-06-2015

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 2322764 A1	18-05-2011	CN 102667065 A	12-09-2012
		EP 2322764 A1	18-05-2011
		EP 2501902 A1	26-09-2012
		JP 5680659 B2	04-03-2015
		JP 2013510995 A	28-03-2013
		KR 20120107466 A	02-10-2012
		RU 2012124906 A	27-12-2013
		US 2012224971 A1	06-09-2012
		WO 2011061193 A1	26-05-2011

US 2012283994 A1	08-11-2012	KEINE	

EP 0431766 A1	12-06-1991	DE 69025456 D1	28-03-1996
		DE 69025456 T2	01-08-1996
		EP 0431766 A1	12-06-1991
		GB 2238581 A	05-06-1991
		JP H03182603 A	08-08-1991
		US 5110262 A	05-05-1992

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 19705323 A1 [0003]