



(10) **DE 10 2014 200 644 B4** 2017.03.02

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2014 200 644.9**
(22) Anmeldetag: **16.01.2014**
(43) Offenlegungstag: **30.07.2015**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **02.03.2017**

(51) Int Cl.: **B21C 23/16** (2006.01)
B23P 15/02 (2006.01)
F01D 5/14 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
MTU Aero Engines AG, 80995 München, DE

(72) Erfinder:
Hoeger, Martin, Dr., 85435 Erding, DE

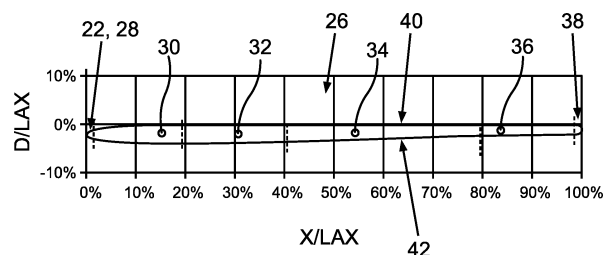
(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE 10 2006 055 869 A1
DE 10 2010 014 900 A1
DE 10 2010 027 588 A1
DE 10 52 781 B

(54) Bezeichnung: **Strangprofil und Verfahren zur Herstellung einer Schaufel eines Nachleitrads, Schaufel eines Nachleitrads, Nachleitrad und Turbomaschine mit solch einem Nachleitrad**

(57) Hauptanspruch: Strangprofil (26) zur Herstellung einer Schaufel (20) eines Nachleitrads (18) einer Turbomaschine, welches Strangprofil (26) eine Querschnittsfläche mit einer axialen Länge LAX und einer auf die axiale Länge LAX bezogenen relativen Dicke D/LAX aufweist, wobei die Querschnittsfläche entlang ihrer axialen Länge LAX folgende aneinander anschließende Bereiche aufweist:

- einen zumindest annähernd achsensymmetrischen Vorderkantenbereich (28);
- einen ersten Übergangsbereich (30) mit einer entlang des ersten Übergangsbereichs (30) variierenden relativen Dicke D/LAX;
- einen ersten Konstantbereich (32) mit einer entlang des ersten Konstantbereichs (32) zumindest im Wesentlichen konstanten relativen Dicke D/LAX, der bezogen auf eine Vorderkante (22) des Strangprofils (26) frühestens bei 10% LAX beginnt und spätestens bei 50% LAX endet;
- einen zweiten Übergangsbereich (34) mit einer entlang des zweiten Übergangsbereichs (34) variierenden relativen Dicke D/LAX, der bezogen auf die Vorderkante (22) des Strangprofils (26) frühestens bei 30% LAX beginnt und spätestens bei 90% LAX endet;
- einen zweiten Konstantbereich (36) mit einer entlang des zweiten Konstantbereichs (36) zumindest im Wesentlichen konstanten relativen Dicke D/LAX und einer axialen Länge X von höchstens 40% LAX; und
- einen zumindest annähernd achsensymmetrischen Hinterkantenbereich (38).



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Strangprofil zur Herstellung einer Schaufel eines Nachleittrads einer Turbomaschine. Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Herstellen einer Schaufel eines Nachleittrads einer Turbomaschine unter Verwendung eines solchen Strangprofils, eine aus einem solchen Strangprofil hergestellte Schaufel sowie ein Nachleitrad und eine Turbomaschine mit einer derartigen Schaufel.

[0002] In Turbomaschinen werden durch den Einbau eines feststehenden Nachleittrads (so genanntes TEC) Druckerhöhungen erreicht, indem Drall aus der Abströmung herausgenommen und so der Vortriebswirkungsgrad verbessert wird. Neuere Triebwerksarchitekturen legen dabei Wert auf die Verwendung möglichst dünner Nachleiträder, die Schaufeln mit vergleichsweise kurzen Sehnenlängen aufweisen. Insbesondere wenn das Nachleitrad als so genanntes MiniTEC ausgeführt wird, sind vergleichsweise hohe Schaufelzahlen gefordert, sodass die einzelnen Schaufeln sehr schlanke Bauformen mit kurzen Sehnenlängen und dünnen Profilen aufweisen müssen. Die Fertigung der Schaufeln erfolgt dabei üblicherweise aus zwei gebogenen Blechhälften, die miteinander verschweißt werden.

[0003] Die optimale Profilform solcher Schaufeln kann aber nur durch weitere Nachbearbeitungsschritte verwirklicht werden, die mit hohem Zeit- und Kostenaufwand verbunden sind. Daher wird teilweise auf diese zur Ausbildung präziser Profilformen erforderlichen Nachbearbeitungsschritte verzichtet. Dies führt jedoch im Betrieb einer zugeordneten Turbomaschine aufgrund von Schweißnähten an den Vorderkanten der Schaufeln oder aufgrund von sonstigen Bauformabweichungen zu Strömungsverlusten und entsprechenden Wirkungsgradeinbußen.

[0004] Aus der DE 10 52 781 B ist es bekannt, eine Turbinenschaufel aus einem Strangprofil zu fertigen. Insbesondere offenbart die DE 10 52 781 B ein Verfahren zur Herstellung von Turbinen- oder Kompressorschaukeln mit seitlich aus dem Schaufelfuß ausmündenden Kühlkanälen durch Strangpressen des Längsteiles eines Rohblockes mit Löchern, die einen mit dem Schaufelwerkstoff fließenden, nachträglich entfernbaren Füllstoff enthalten, zum Schaufelblatt und Bearbeiten des nicht ausgepressten Blockteils zum Schaufelfuß, wobei von einem Rohblock mit Längslöchern ausgegangen wird, die mit Bezug auf mindestens eine Seitenfläche des Fußes außerhalb derselben verlaufen und beim Erzeugen dieser Seitenfläche durch Zerspanen in der Übergangszone vom ursprünglichen Lochverlauf im Rohblock zum Lochverlauf im stranggepressten Blatt durchschnitten werden.

[0005] Zudem sind aus der DE 10 2006 055 869 A1, DE 10 2010 027 588 A1 und DE 10 2010 014 900 A1 unterschiedliche Formen von Leitschaufeln bekannt.

[0006] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine schnellere, einfachere und kostengünstigere Möglichkeit zur Herstellung einer Schaufel für derartige Nachleiträder anzugeben. Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist, ein schnelleres, einfacheres und kostengünstigeres Verfahren zum Herstellen einer Schaufel zu schaffen. Weitere Aufgaben der Erfindung bestehen darin, eine schneller, einfacher und kostengünstiger herstellbare Schaufel, ein entsprechendes Nachleitrad mit wenigstens einer solchen Schaufel sowie eine Turbomaschine mit einem solchen Nachleitrad bereitzustellen.

[0007] Die Aufgaben werden erfindungsgemäß durch ein Strangprofil mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1, durch ein Verfahren gemäß Anspruch 8 zum Herstellen einer Schaufel eines Nachleittrads, durch eine Schaufel gemäß Anspruch 11, durch ein Nachleitrad gemäß Anspruch 12 sowie durch eine Turbomaschine gemäß Anspruch 14 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen mit zweckmäßigen Weiterbildungen der Erfindung sind in den jeweiligen Unteransprüchen angegeben.

[0008] Ein erster Aspekt der Erfindung betrifft ein Strangprofil zur Herstellung einer Schaufel eines Nachleittrads einer Turbomaschine. Das Strangprofil weist eine Querschnittsfläche mit einer axialen Länge LAX und einer auf die axiale Länge LAX bezogenen relativen Dicke D/LAX auf, wobei die Querschnittsfläche entlang ihrer axialen Länge LAX einen zumindest annähernd achsensymmetrischen Vorderkantenbereich, einen ersten Übergangsbereich mit einer entlang des ersten Übergangsbereichs variierenden relativen Dicke D/LAX , einen ersten Konstantbereich mit einer entlang des ersten Konstantbereichs zumindest im Wesentlichen konstanten relativen Dicke D/LAX , der bezogen auf eine Vorderkante des Strangprofils frühestens bei 10% LAX beginnt und spätestens bei 50% LAX endet, einen zweiten Übergangsbereich mit einer entlang des zweiten Übergangsbereichs variierenden relativen Dicke D/LAX , der bezogen auf die Vorderkante des Strangprofils frühestens bei 30% LAX beginnt und spätestens bei 90% LAX endet, einen zweiten Konstantbereich mit einer entlang des zweiten Konstantbereichs zumindest im Wesentlichen konstanten relativen Dicke D/LAX und einer axialen Länge X von höchstens 40% LAX und einen zumindest annähernd achsensymmetrischen Hinterkantenbereich aufweist, wobei die genannten Bereiche aneinander anschließen. Das erfindungsgemäße Strangprofil, welches grundsätzlich als „Endlosprofil“, das heißt mit einer beliebigen Länge, hergestellt werden kann, ermöglicht eine wesentlich schnellere, einfachere und kostengünstigere Herstellung einer Schaufel für derartige Nach-

leiträder als dies beispielsweise mit Hilfe von miteinander zu verschweißenden Blechrohlingen möglich wäre, da das Strangprofil bereits die geforderte Querschnittsgeometrie einer Schaufel für ein Nachleitrad aufweist. Das erfindungsgemäße Strangprofil, das auch als profiliertes 2D Rohling oder Halbzeug bezeichnet werden kann, kann beispielsweise durch einfaches Umformen und ohne weitere Nachbearbeitungsschritte in eine TEC Schaufel mit einer dreidimensionalen Formgebung umgeformt werden, wobei trotz geringer Sehnenlängen, Vorderkantendicken und Reynoldszahlen eine hochgenaue und aerodynamisch optimale Vorderkantenform verwirklicht werden kann. Etwaige Geometrieabweichungen infolge des Umformens haben dabei aufgrund der spezifischen Querschnittsflächengestaltung des erfindungsgemäßen Strangprofils nur einen sehr geringen Einfluss auf die Aerodynamik der fertigen Schaufel. Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Strangprofils besteht darin, dass TEC Schaufeln und insbesondere sogenannte Mini TEC Schaufeln in der Regel nur eine geringe Wölbung und axiale Abströmung haben, so dass eine exakte Profilform in erster Linie an der im erfindungsgemäßen Strangprofil bereits fertig ausgebildeten Vorderkante benötigt wird. Weiterhin kann vorgesehen sein, dass das Strangprofil zusätzlich an seiner Hinterkante zurückgeschnitten wird, so dass auf besonders einfache Weise Schaufeln mit unterschiedlichen radialen und/oder axialen Erstreckungen aus demselben Strangprofil herstellbar sind. Somit erlaubt das erfindungsgemäße Strangprofil auch eine besonders variable und kostengünstige Herstellung präzise geformter Schaufeln für Nachleiträder, wodurch ein besonders zuverlässiger und effizienter Betrieb einer zugeordneten Turbomaschine ermöglicht wird. Beispielsweise verbessert sich der Wirkungsgrad einer mit einem solchen Nachleitrad ausgerüsteten Niederdruckturbine um mindestens 0,1% bei gleichzeitig verringerten Fertigungskosten.

[0009] In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass der Vorderkantenbereich und/oder der Hinterkantenbereich zumindest im Wesentlichen kissegmentförmig mit einem Kissegmentdurchmesser zwischen 1% und 5% LAX, insbesondere zwischen 2% und 4% LAX ausgebildet ist. Mit anderen Worten ist es vorgesehen, dass der Vorderkantenbereich und/oder der Hinterkantenbereich zumindest annähernd kissegmentförmig ausgebildet ist, wobei der Durchmesser des Kissegments beispielsweise 1,0%, 1,1%, 1,2%, 1,3%, 1,4%, 1,5%, 1,6%, 1,7%, 1,8%, 1,9%, 2,0%, 2,1%, 2,2%, 2,3%, 2,4%, 2,5%, 2,6%, 2,7%, 2,8%, 2,9%, 3,0%, 3,1%, 3,2%, 3,3%, 3,4%, 3,5%, 3,6%, 3,7%, 3,8%, 3,9%, 4,0%, 4,1%, 4,2%, 4,3%, 4,4%, 4,5%, 4,6%, 4,7%, 4,8%, 4,9% oder 5,0% der axialen Länge des Strangprofils beträgt. Hierdurch wird eine strömungsoptimierte und hochgenaue Vorder- bzw. Hinterkantengeometrie der späteren Schaufel sicherge-

stellt. Vorzugsweise ist das Kissegment zumindest annähernd halbkreisförmig bzw. weist einen Mittelpunktswinkel von etwa 180° auf, wobei grundsätzlich auch abweichende Mittelpunktswinkel über oder unter 180° vorgesehen sein können.

[0010] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass der erste Konstantbereich eine relative Dicke D/LAX zwischen 3% und 6% LAX, vorzugsweise von etwa 4% LAX besitzt und/oder dass sich der erste Konstantbereich bezogen auf die Vorderkante des Strangprofils im Bereich von etwa 20% bis etwa 40% LAX erstreckt. Mit anderen Worten ist es vorgesehen, dass der erste Konstantbereich eine Dicke D/LAX aufweist, die 3,0%, 3,1%, 3,2%, 3,3%, 3,4%, 3,5%, 3,6%, 3,7%, 3,8%, 3,9%, 4,0%, 4,1%, 4,2%, 4,3%, 4,4%, 4,5%, 4,6%, 4,7%, 4,8%, 4,9%, 5,0%, 5,1%, 5,2%, 5,3%, 5,4%, 5,5%, 5,6%, 5,7%, 5,8%, 5,9% oder 6,0% der axialen Länge LAX des Strangprofils beträgt. Alternativ oder zusätzlich ist vorgesehen, dass sich der erste Konstantbereich ausgehend von der Vorderkante des Strangprofils in einem Bereich von etwa 20% bis etwa 40% der axialen Länge LAX des Strangprofils erstreckt und somit eine Länge aufweist, die etwa 20% der axialen Länge LAX des Strangprofils entspricht. Hierdurch kann das Strangprofil besonders einfach sowohl zur Herstellung von Schaufeln mit kurzer als auch mit langer Bauform verwendet werden.

[0011] Weitere Vorteile ergeben sich dadurch, dass der erste Übergangsbereich eine axiale Länge X von höchstens 20% LAX aufweist und/oder dass der zweite Übergangsbereich bezogen auf die Vorderkante des Strangprofils spätestens bei etwa 80% LAX endet. Mit anderen Worten ist es vorgesehen, dass der erste Übergangsbereich eine axiale Länge X von höchstens 20% LAX, also beispielsweise von 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6%, 7%, 8%, 9%, 10%, 11%, 12%, 13%, 14%, 15%, 16%, 17%, 18%, 19% oder 20% LAX aufweist. Dies erlaubt eine besonders einfache Herstellung einer Schaufel mit einem asymmetrischen Vorderkantenbereich. Alternativ oder zusätzlich ist es vorgesehen, dass der zweite Übergangsbereich, der zwischen dem ersten und dem zweiten Konstantbereich angeordnet ist, spätestens bei 80% der Länge LAX des Strangprofils endet. In Abhängigkeit der Anordnung und Länge des ersten Konstantbereichs kann somit beispielsweise vorgehen sein, dass der zweite Übergangsbereich bei 40%, 41%, 42%, 43%, 44%, 45%, 46%, 47%, 48%, 49%, 50%, 51%, 52%, 53%, 54%, 55%, 56%, 57%, 58%, 59%, 60%, 61%, 62%, 63%, 64%, 65%, 66%, 67%, 68%, 69%, 70%, 71%, 72%, 73%, 74%, 75%, 76%, 77%, 78%, 79% oder 80% der Länge LAX des Strangprofils endet bzw. dass der zweite Übergangsbereich eine axiale Länge aufweist, die zwischen etwa 10% und etwa 50% der axialen Länge LAX des Strangprofils beträgt. Dies erlaubt eine besonders präzise Einstel-

lung der aerodynamischen Eigenschaften einer aus dem Strangprofil hergestellten Schaufel.

[0012] Weitere Vorteile ergeben sich, indem das Strangprofil eine Saugseite mit einer entlang der axialen Länge LAX zumindest überwiegend ebenen Saugseitengrundform aufweist. Mit anderen Worten ist es vorgesehen, dass das Strangprofil eine Seite aufweist, die bei der späteren Schaufel als Saugseite fungiert, wobei diese Seite des Strangprofils über eine Länge, die mindestens 51% der gesamten axialen Länge LAX des Strangprofils entspricht, eben ausgebildet ist. Grundsätzlich kann diese Seite natürlich auch eine größere axiale Erstreckung, beispielsweise 55%, 60%, 65%, 70%, 75%, 80%, 85%, 90% oder 95% LAX oder entsprechende Zwischenwerte wie beispielsweise 55%, 56%, 57%, 58%, 59%, 60% LAX usw. besitzen. Hierdurch kann aus dem Strangprofil durch einfaches Umformen eine Schaufel mit einer aerodynamisch besonders günstig geformten Saugseite hergestellt werden.

[0013] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass das Strangprofil eine Druckseite mit einer zumindest im Bereich des zweiten Übergangsbereichs etwa S-förmig gekrümmten Druckseitengrundform aufweist. Anders ausgedrückt weist das Strangprofil eine der Saugseite gegenüberliegende Seite auf, die bei der späteren Schaufel als Druckseite fungiert, wobei diese im zweiten Übergangsbereich, welcher in axialer Richtung eine variable Querschnittsdicke aufweist, einen etwa S-förmigen Konturverlauf besitzt. Hierdurch wird auf konstruktiv einfache Weise sichergestellt, dass durch einfaches Umformen des Strangprofils eine Schaufel mit einer aerodynamisch besonders günstig geformten Druckseite hergestellt werden kann.

[0014] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass das Strangprofil aus Metall und/oder einer Metalllegierung, insbesondere einer hochtemperaturfesten Metalllegierung besteht und/oder durch Strangpressen hergestellt ist. Dies ermöglicht eine einfache Anpassung des Strangprofils an die Einsatzbedingungen der späteren Schaufel. Besondere Vorteile des Strangpressens bestehen in der Möglichkeit, Profile mit komplexen Querschnittsgeometrien aus schwer umformbaren Werkstoffen herzustellen. Weiterhin wird in einem einzigen Verfahrensschritt ein hoher Umformgrad bei gleichzeitig geringen Werkzeugkosten erreicht.

[0015] Ein zweiter Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen einer Schaufel eines Nachleittrads einer Turbomaschine, bei welchem ein Strangprofil gemäß dem ersten Erfindungsaspekt bereitgestellt und die Schaufel aus dem Strangprofil mittels wenigstens eines Fertigungsverfahrens aus der Gruppe Umformverfahren und Trennverfahren hergestellt wird. Mit anderen Worten wird eine Schau-

fel für ein Nachleitrad aus einem Strangprofil gemäß dem ersten Erfindungsaspekt durch Umformen und/oder Trennen hergestellt, wobei das Strangprofil seinerseits beispielsweise durch Strangpressen hergestellt sein kann. Die Wahl des Fertigungsverfahrens hängt in erster Linie von der gewünschten dreidimensionalen Form der herzustellenden Schaufel ab. In einfachster Ausgestaltung kann das Strangprofil somit lediglich umgeformt oder getrennt werden. Alternativ kann das Strangprofil sowohl umgeformt als auch getrennt werden, wobei die Reihenfolge der einzelnen Verfahrensschritte grundsätzlich frei wählbar ist. Ebenso kann grundsätzlich vorgesehen sein, dass das Strangprofil mehrfach umgeformt und/oder getrennt wird, um die Schaufel herzustellen. Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht somit eine wesentlich schnellere, einfachere und kostengünstigere Herstellung einer Schaufel für ein Nachleitrad als dies beispielsweise mit Hilfe von miteinander zu verschweißenden Blechrohlungen möglich wäre, da das Strangprofil bereits die geforderte Querschnittsgeometrie einer Schaufel für ein Nachleitrad aufweist und lediglich noch leicht gebogen bzw. überwölbt und/oder getrennt werden muss, um die fertige Schaufel auszubilden. Weitere Merkmale und deren Vorteile sind den Beschreibungen des ersten Erfindungsaspekts zu entnehmen, wobei vorteilhafte Ausgestaltungen des ersten Erfindungsaspekts als vorteilhafte Ausgestaltungen des zweiten Erfindungsaspekts und umgekehrt anzusehen sind.

[0016] In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass zum Herstellen der Schaufel zumindest die Schritte Umformen des Strangprofils zumindest im Vorderkantenbereich und Trennen des Strangprofils in wenigstens einem dem ersten Übergangsbereich nachgelagerten Bereich durchgeführt werden. Hierdurch kann die Schaufel besonders einfach sowohl mit einer gewünschten dreidimensionalen Kontur als auch mit einer gewünschten radialen bzw. axialen Länge hergestellt werden. Der dem ersten Übergangsbereich nachgelagerte Bereich kann dabei der erste Konstantbereich, der zweite Übergangsbereich, der zweite Konstantbereich, der Hinterkantenbereich oder eine beliebige Kombination dieser Bereiche sein. Als Trennverfahren kann beispielsweise ein spanendes Verfahren mit einer geometrisch bestimmten Schneide oder ein Abtragverfahren wie beispielsweise Laser- oder Elektronenschneiden vorgesehen sein, wobei das erfindungsgemäße Verfahren nicht auf ein bestimmtes Trennverfahren beschränkt ist.

[0017] Weitere Vorteile ergeben sich, wenn das Strangprofil im zweiten Konstantbereich und/oder entlang einer senkrecht zur Querschnittsfläche angeordneten Schnittebene und/oder entlang einer parallel zur Querschnittsfläche angeordneten Schnittebene und/oder entlang einer in einem Winkel zur Querschnittsfläche angeordneten Rückschnittebene ge-

trennt wird. Dies erlaubt ein gezieltes Rückschneiden des Strangprofils bzw. der aus diesem hergestellten Schaufel.

[0018] Ein dritter Aspekt der Erfindung betrifft eine Schaufel eines Nachleittrads einer Turbomaschine, wobei die Schaufel aus einem Strangprofil gemäß dem ersten Erfindungsaspekts und/oder mittels eines Verfahrens gemäß dem zweiten Erfindungsaspekts erhältlich und/oder erhalten ist. Hierdurch kann die Schaufel schneller, einfacher und kostengünstiger hergestellt sein bzw. werden, als dies beispielsweise mit Hilfe von miteinander zu verschweißenden Blechrohlingen möglich wäre. Weitere sich ergebende Merkmale und deren Vorteile sind den Beschreibungen des ersten und des zweiten Erfindungsaspekts zu entnehmen, wobei vorteilhafte Ausgestaltungen des ersten und des zweiten Erfindungsaspekts als vorteilhafte Ausgestaltungen des dritten Erfindungsaspekts und umgekehrt anzusehen sind.

[0019] Ein vierter Aspekt der Erfindung betrifft ein Nachleitrad für eine Turbomaschine, wobei dieses erfindungsgemäß wenigstens eine Schaufel gemäß dem dritten Erfindungsaspekt umfasst. Hierdurch kann das Nachleitrad schneller, einfacher und kostengünstiger hergestellt sein bzw. werden, als dies beispielsweise mit Hilfe von konventionellen Schaufeln möglich wäre, die aus miteinander verschweißten Blechrohlingen bestehen. Weitere sich ergebende Merkmale und deren Vorteile sind den Beschreibungen des dritten Erfindungsaspekts zu entnehmen, wobei vorteilhafte Ausgestaltungen des dritten Erfindungsaspekts als vorteilhafte Ausgestaltungen des vierten Erfindungsaspekts und umgekehrt anzusehen sind.

[0020] In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass das Nachleitrad wenigstens zwei Schaufeln gemäß dem dritten Erfindungsaspekt umfasst, wobei die wenigstens zwei Schaufeln unterschiedliche axiale Längen aufweisen. Hierdurch kann die längere der Schaufeln zusätzlich strukturelle Aufgaben übernehmen, wodurch die Belastbarkeit des Nachleittrads vorteilhaft gesteigert ist.

[0021] Ein fünfter Aspekt der Erfindung betrifft eine Turbomaschine, insbesondere ein Flugzeugtriebwerk, mit wenigstens einem Nachleitrad, welches gemäß dem vierten Erfindungsaspekt ausgebildet ist. Hierdurch können einerseits die Herstellungskosten der Turbomaschine gesenkt und andererseits der Wirkungsgrad der Turbomaschine um mindestens 0, 1 % gesteigert werden. Weitere sich ergebende Merkmale und deren Vorteile sind den Beschreibungen des vierten Erfindungsaspekts zu entnehmen, wobei vorteilhafte Ausgestaltungen des vierten Erfindungsaspekts als vorteilhafte Ausgestaltungen des fünften Erfindungsaspekts und umgekehrt anzusehen sind.

[0022] In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass das Nachleitrad im Bereich eines Turbinenaustritts der Turbomaschine angeordnet ist. Dies ermöglicht eine besonders hohe Wirkungsgradsteigerung, indem während des Betriebs der Turbomaschine Drall aus der Abströmung herausgenommen und so der Vortriebswirkungsgrad verbessert wird.

[0023] Weitere Merkmale der Erfindung ergeben sich aus den Ansprüchen, dem Ausführungsbeispiel sowie anhand der Zeichnung. Die vorstehend in der Beschreibung genannten Merkmale und Merkmalskombinationen sowie die nachfolgend in dem Ausführungsbeispielen genannten Merkmale und Merkmalskombinationen sind nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen verwendbar, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen. Dabei zeigt:

[0024] Fig. 1 eine Prinzipdarstellung eines Turbinenaustrittsbereichs eines Flugzeugtriebwerks;

[0025] Fig. 2 einen Querschnitt durch ein erfindungsgemäßes Strangprofil;

[0026] Fig. 3 eine schematische Perspektivansicht des Strangprofils, welches zu einer Schaufel umgeformt und getrennt wird; und

[0027] Fig. 4 eine schematische Perspektivansicht der aus dem Strangprofil hergestellten Schaufel.

[0028] Fig. 1 zeigt eine Prinzipdarstellung eines Flugzeugtriebwerks **10** im Bereich eines Turbinenaustritts **12**. Man erkennt einen Ringraum **14**, der stromab eines letzten Rotors **16** einer Niederdruckturbine des Flugzeugtriebwerks **10** angeordnet ist, wobei der Rotor **16** gemäß Pfeil **II** um eine Drehachse **D** rotiert. Die Strömungsrichtung des Betriebsfluids ist mit den Pfeilen **I** gekennzeichnet. Im Ringraum **14** ist ein erfindungsgemäßes Nachleitrad **18** angeordnet, welches auch als TEC bezeichnet wird. Das Nachleitrad **18** umfasst mehrere ringförmig im Ringraum **14** angeordnete Schaufeln **20**, die in Strömungsrichtung **I** betrachtet jeweils eine Vorderkante **22** und eine Hinterkante **24** aufweisen. Je nach Bauform können eine oder mehrere der Schaufeln **20** unterschiedliche axiale Erstreckungen aufweisen. Die Hinterkante **24** entspricht dabei einer moderneren Bauform mit vergleichsweise kurzen Schaufeln **20**, während die Hinterkante **24'** einer moderneren Bauform mit längeren Schaufeln **20** und die Hinterkante **24''** einer älteren Bauform mit langen Schaufeln **20** entspricht.

[0029] Alle diese Schaufeln **20** können mit Hilfe eines erfindungsgemäßen Strangprofils **26** besonders schnell, einfach und kostengünstig hergestellt werden. Fig. 2 zeigt zur Verdeutlichung einen Querschnitt durch ein Ausführungsbeispiel eines erfin-

zungsgemäßen ebenen Strangprofils **26**. Man erkennt, dass das Strangprofil **26** eine durch Strangpressen spezifisch ausgestaltete Querschnittsfläche mit einer axialen Länge LAX und einer entlang der Querschnittsfläche variierenden Dicke D aufweist, wobei die Dicke D bezogen auf die axiale Länge LAX als relative Dicke D/LAX angegeben ist. Die Querschnittsfläche des Strangprofils **26** weist dabei entlang ihrer axialen Länge LAX mehrere aneinander anschließende Bereiche auf. Zunächst umfasst das Strangprofil **26** einen zumindest annähernd achsensymmetrischen Vorderkantenbereich **28**, der im Querschnitt wenigstens ungefähr einem Halbkreissegment mit einem Durchmesser von 2 bis 4% LAX entspricht und dementsprechend eine davon abhängige axiale Erstreckung von etwa 1% bis etwa 4% LAX aufweist. An den Vorderkantenbereich **28**, der die Vorderkante **22** der fertigen Schaufel **20** bildet, schließt sich ein erster Übergangsbereich **30** mit einer entlang des ersten Übergangsbereichs **30** variierenden relativen Dicke D und einer axialen Länge X von höchstens 20% LAX an. An den ersten Übergangsbereich **30** schließt ein erster Konstantbereich **32** mit einer entlang des ersten Konstantbereichs **32** zumindest im Wesentlichen konstanten relativen Dicke D an, die im gezeigten Ausführungsbeispiel zwischen etwa 3% und etwa 6% LAX beträgt. Man erkennt, dass sich der erste Konstantbereich **32** bezogen auf die Vorderkante **22** des Strangprofils **26** im Bereich von etwa 20% bis etwa 40% LAX erstreckt und dementsprechend eine Länge von 20% LAX aufweist. An den ersten Konstantbereich **32** schließt sich ein zweiter Übergangsbereich **34** mit einer entlang des zweiten Übergangsbereichs **34** variierenden relativen Dicke D/LAX an. Der zweite Übergangsbereich **34** beginnt im gezeigten Ausführungsbeispiel bei etwa 40% LAX und endet bei etwa 80% LAX, so dass der zweite Übergangsbereich **34** eine Länge von etwa 40% LAX besitzt. An den zweiten Übergangsbereich **34** schließt ein zweiter Konstantbereich **36** an, der eine entlang des zweiten Konstantbereichs **36** zumindest im Wesentlichen konstante relative Dicke D/LAX und eine axialen Länge X von etwa 27% LAX aufweist bzw. bei etwa 97% LAX endet. An den zweiten Konstantbereich **36** schließt ein Hinterkantenbereich **38** an, der analog zum Vorderkantenbereich **28** im Querschnitt zumindest annähernd halbkreisförmig mit einem Durchmesser zwischen etwa 2% und etwa 4% LAX ausgebildet ist. Je nach konkreter Ausgestaltung und Art der Weiterverarbeitung des Strangprofils **26** kann der Hinterkantenbereich **38** beispielsweise die Hinterkante **24''** (ältere Bauform), die Hinterkante **24'** (modernere Bauform, lange Schaufel) oder die Hinterkante **24** (modernere Bauform, kurze Schaufel) einer Schaufel **20** bilden.

[0030] Wie man in **Fig. 2** weiterhin erkennt, weist das Strangprofil **26** eine zumindest im Wesentlichen ebene Saugseite **40** auf, die sich von etwa 10% LAX bis etwa 99% LAX erstreckt und bei der fertigen Schaufel

20 die Saugseite bildet. Dabei sind insbesondere der Vorderkantenbereich **28** und ein bis etwa 10% LAX reichender Abschnitt des ersten Übergangsbereichs **30** von der entlang der Nulllinie verlaufenden ebenen Saugseitengrundform der Saugseite **40** angenommen, da sie gegenüber dieser formal abgesenkt sind und zusammen einen asymmetrischen Vorderbereich des Strangprofils **26** bilden. Gegenüber der Saugseitengrundform **40** weist das Strangprofil **26** weiterhin eine Druckseite **42** auf. Man erkennt im Querschnitt, dass die Druckseite **42** im Unterschied zur Saugseitengrundform **40** einen variierenden Konturverlauf besitzt und im Bereich des zweiten Übergangsbereichs **34** etwa S-förmig gekrümmt ist bzw. einen Wendepunkt umfasst und formal von einer Rechts- in eine Linkskurve wechselt.

[0031] **Fig. 3** zeigt eine schematische Perspektivansicht des in **Fig. 2** gezeigten Strangprofils **26**, aus welchem durch Umformen und Trennen eine Schaufel **20** für ein Nachleitrad **18** hergestellt wird, wobei die Profilquerschnitte in die Meridianebene (rad; ax) hineingedreht dargestellt sind. **Fig. 3** wird im Folgenden in Zusammenschau mit **Fig. 4** erläutert werden, in welcher eine schematische Perspektivansicht der aus dem Strangprofil **26** hergestellten Schaufel **20** abgebildet ist. Da das Strangprofil **26** grundsätzlich als „endloses“ Band ausgebildet sein kann, kann das Strangprofil **26** je nach gewünschter Höhe zunächst in radialer Richtung (rad.) zurechtgeschnitten werden. Wenn das Strangprofil **26** bereits die gewünschte Höhe aufweist, kann dieser Schritt natürlich entfallen. In Abhängigkeit der gewünschten Bauform der Schaufel **20** kann das Strangprofil **26** anschließend umgebogen bzw. vertwistet und/oder überwölbt werden, wodurch sich die in **Fig. 4** erkennbare Wölbung **IV** der Schaufel **20** mit radial veränderlichen Kreisbögen ergibt. Auch bei kleinen Abmessungen der Schaufel **20** wird hierdurch eine hochgenaue Vorderkantengeometrie bei geringen Fertigungskosten erzielt.

[0032] Falls eine Schaufel **20** mit einer radial veränderlichen axialen Erstreckung gewünscht ist, kann das Strangprofil **26** bzw. die Schaufel **20** entsprechend zurückgeschnitten werden, so dass aus dem Strangprofil **26** auf einfache Weise Schaufeln **20** mit unterschiedlich langen Bauformen und entsprechend variierenden Hinterkanten **24, 24''** usw. realisiert werden können. Eine solcher Rückschnitt kann beispielsweise entlang der in **Fig. 3** gezeigten Schnittebene **III** erfolgen. Aus Festigkeitsgründen kann für die Herstellung eines Nachleitrads **18** eine Kombination von kürzeren Schaufeln **20** mit wenigen langen Schaufeln **20** sinnvoll sein. Hierzu kann je nach gewünschter Länge entweder dasselbe Strangprofil **26** oder ein Strangprofil **26** mit einer alternativen Querschnittsfläche verwendet werden, bei dem beispielsweise einfach der zweite Konstantbereich **36** entsprechend verlängert wird bzw. einen größeren prozentualen

Anteil X/LAX an der Gesamtlänge LAX des Strangprofils **26** einnimmt. Die Verformung dieses längeren Strangprofils **26** kann dann vorzugsweise auf die gleiche Art wie bei der kurzen Schaufelform erfolgen, so dass gerade Blechenden stehen bleiben, die dann im Nachleitrad **18** zusätzlich strukturelle Aufgaben übernehmen können. Weiterhin kann vorgesehen sein, dass das Strangprofil **26** bzw. die Schaufel **20** entlang einer in einem Winkel zur Querschnittsfläche angeordneten Rückschnittebene getrennt wird, um eine entsprechend profilierte Schaufel **20** zu erhalten. Die Schaufel **20** kann dann in an sich bekannter Weise zur Herstellung des Nachleitrads **18** verwendet werden. Somit wird bei minimalen Fertigungskosten ein zuverlässiger und effizienter Betrieb des Flugzeugtriebwerks **10** möglich. Begünstigt wird diese Fertigungsmethode dadurch, dass TEC Schaufeln **20** üblicherweise nur eine geringe Wölbung **IV** und axiale Abströmung haben, so dass eine exakte Profilform insbesondere an der Vorderkante **22** benötigt wird.

[0033] Die in den Unterlagen angegebenen Werte zur Charakterisierung von spezifischen Eigenschaften des Erfindungsgegenstands sind auch im Rahmen von Abweichungen – beispielsweise aufgrund von Messfehlern, Systemfehlern, Einwaagefehlern, DIN-Toleranzen und dergleichen – als vom Rahmen der Erfindung mitumfasst anzusehen. Insbesondere sind Abweichungen von $\pm 10\%$ des betreffenden Werts als von der Offenbarung mitumfasst anzusehen.

Patentansprüche

1. Strangprofil **(26)** zur Herstellung einer Schaufel **(20)** eines Nachleitrads **(18)** einer Turbomaschine, welches Strangprofil **(26)** eine Querschnittsfläche mit einer axialen Länge LAX und einer auf die axiale Länge LAX bezogenen relativen Dicke D/LAX aufweist, wobei die Querschnittsfläche entlang ihrer axialen Länge LAX folgende aneinander anschließende Bereiche aufweist:

- einen zumindest annähernd achsensymmetrischen Vorderkantenbereich **(28)**;
- einen ersten Übergangsbereich **(30)** mit einer entlang des ersten Übergangsbereichs **(30)** variierenden relativen Dicke D/LAX;
- einen ersten Konstantbereich **(32)** mit einer entlang des ersten Konstantbereichs **(32)** zumindest im Wesentlichen konstanten relativen Dicke D/LAX, der bezogen auf eine Vorderkante **(22)** des Strangprofils **(26)** frühestens bei 10% LAX beginnt und spätestens bei 50% LAX endet;
- einen zweiten Übergangsbereich **(34)** mit einer entlang des zweiten Übergangsbereichs **(34)** variierenden relativen Dicke D/LAX, der bezogen auf die Vorderkante **(22)** des Strangprofils **(26)** frühestens bei 30% LAX beginnt und spätestens bei 90% LAX endet;
- einen zweiten Konstantbereich **(36)** mit einer entlang des zweiten Konstantbereichs **(36)** zumindest im

Wesentlichen konstanten relativen Dicke D/LAX und einer axialen Länge X von höchstens 40% LAX; und – einen zumindest annähernd achsensymmetrischen Hinterkantenbereich **(38)**.

2. Strangprofil **(26)** nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Vorderkantenbereich **(28)** und/oder der Hinterkantenbereich **(38)** zumindest im Wesentlichen kreissegmentförmig mit einem Kreissegmentdurchmesser zwischen 1% und 5% LAX, insbesondere zwischen 2% und 4% LAX ausgebildet ist.

3. Strangprofil **(26)** nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der erste Konstantbereich **(32)** eine relative Dicke D/LAX zwischen 3% und 6% LAX, vorzugsweise von etwa 4% LAX besitzt und/oder dass sich der erste Konstantbereich **(32)** bezogen auf die Vorderkante **(22)** des Strangprofils **(26)** im Bereich von etwa 20% bis etwa 40% LAX erstreckt.

4. Strangprofil **(26)** nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass der erste Übergangsbereich **(30)** eine axiale Länge X von höchstens 20% LAX aufweist und/oder dass der zweite Übergangsbereich **(34)** bezogen auf die Vorderkante **(22)** des Strangprofils **(26)** spätestens bei etwa 80% LAX endet.

5. Strangprofil **(26)** nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass dieses eine Saugseite **(40)** mit einer entlang der axialen Länge LAX zumindest überwiegend ebenen Saugseitenrundform aufweist.

6. Strangprofil **(26)** nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass dieses eine Druckseite **(42)** mit einer zumindest im Bereich des zweiten Übergangsbereichs **(34)** etwa S-förmig gekrümmten Druckseitenrundform aufweist.

7. Strangprofil **(26)** nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass dieses aus Metall und/oder einer Metalllegierung, insbesondere einer hochtemperaturfesten Metalllegierung besteht und/oder durch Strangpressen hergestellt ist.

8. Verfahren zum Herstellen einer Schaufel **(20)** eines Nachleitrads **(18)** einer Turbomaschine, bei welchem ein Strangprofil **(26)** nach einem der Ansprüche 1 bis 7 bereitgestellt und die Schaufel **(20)** aus dem Strangprofil **(26)** mittels wenigstens eines Fertigungsverfahrens aus der Gruppe Umformverfahren und Trennverfahren hergestellt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass zum Herstellen der Schaufel **(20)** zumindest die Schritte:

- Umformen des Strangprofils **(26)** zumindest im Vorderkantenbereich **(28)**; und

– Trennen des Strangprofils (26) in wenigstens einem dem ersten Übergangsbereich (30) nachgelagerten Bereich durchgeführt werden.

10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Strangprofil (26) im zweiten Konstantbereich (36) und/oder entlang einer senkrecht zur Querschnittsfläche angeordneten Schnittebene und/oder entlang einer parallel zur Querschnittsfläche angeordneten Schnittebene und/oder entlang einer in einem Winkel zur Querschnittsfläche angeordneten Rückschnittebene getrennt wird.

11. Schaufel (20) eines Nachleitrads (18) einer Turbomaschine, welche Schaufel (20) aus einem Strangprofil (26) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7 und/oder mittels eines Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 8 bis 10 erhältlich und/oder erhalten ist.

12. Nachleitrad (18) für eine Turbomaschine, umfassend wenigstens eine Schaufel (20) gemäß Anspruch 11.

13. Nachleitrad (18) nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass dieses wenigstens zwei Schaufeln (20) gemäß Anspruch 11 umfasst, wobei die wenigstens zwei Schaufeln (20) unterschiedliche axiale Längen LAX aufweisen.

14. Turbomaschine, insbesondere Flugzeugtriebwerk (10), mit wenigstens einem Nachleitrad (18), **dadurch gekennzeichnet**, dass das Nachleitrad (18) gemäß einem der Ansprüche 12 oder 13 ausgebildet ist.

15. Turbomaschine nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Nachleitrad (18) im Bereich eines Turbinenaustritts (12) der Turbomaschine angeordnet ist.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

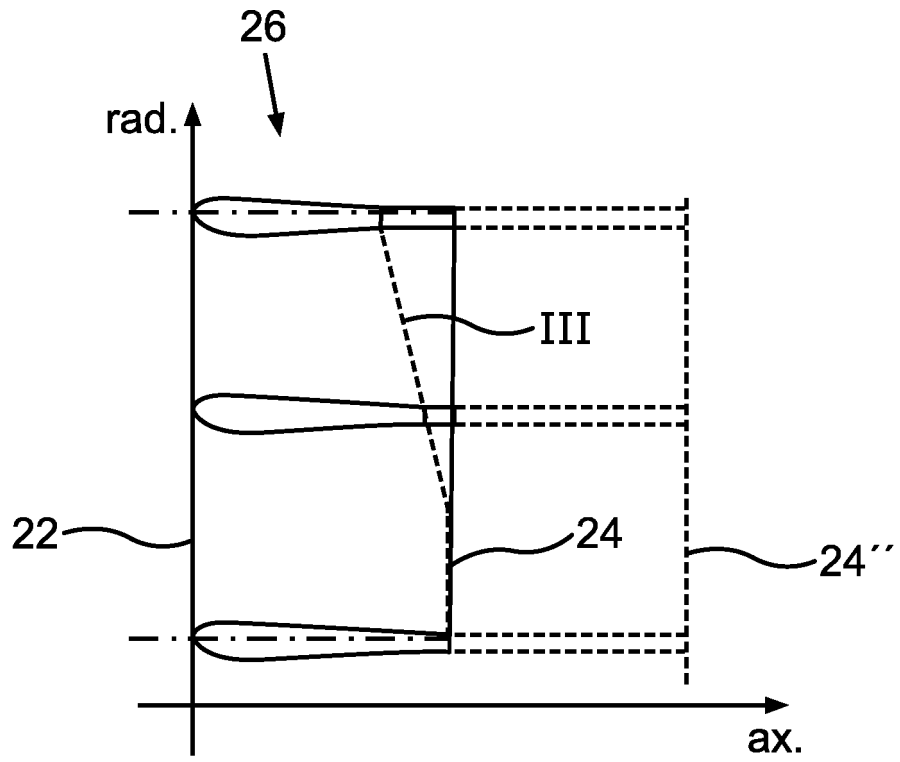


Fig.3

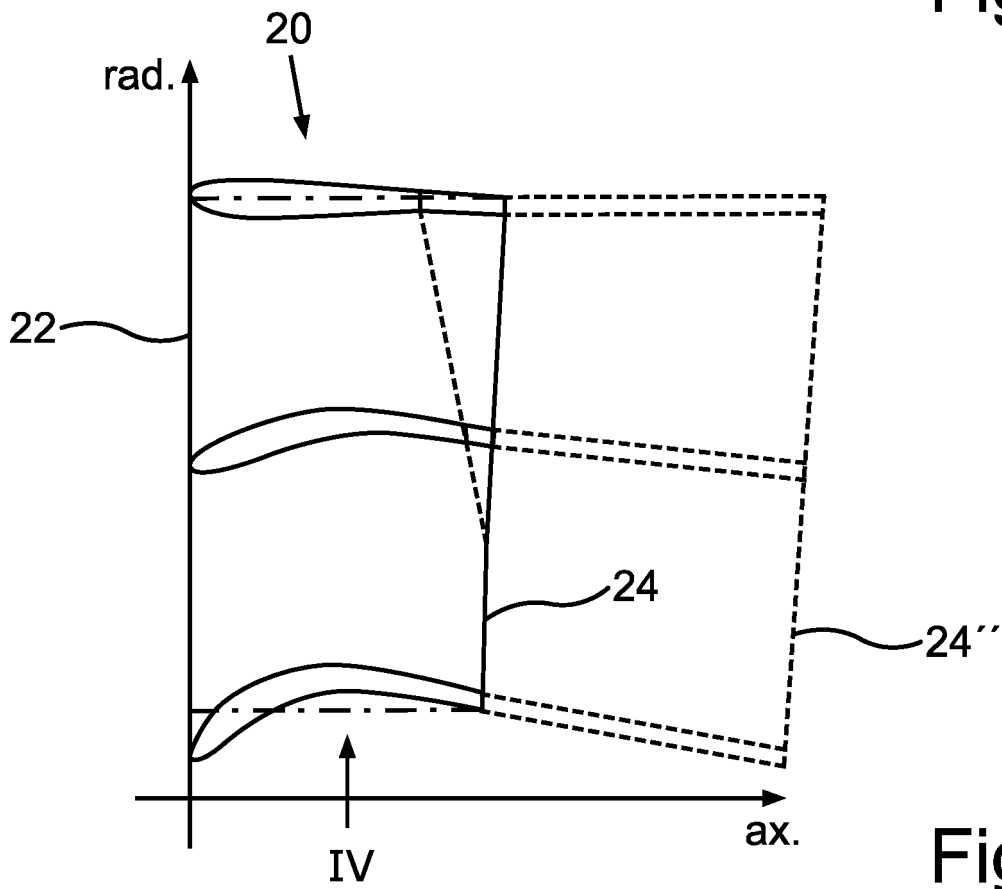


Fig.4