



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 601 14 943 T2** 2006.08.03

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 175 956 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **601 14 943.2**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 306 416.7**

(96) Europäischer Anmeldetag: **26.07.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **30.01.2002**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **16.11.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **03.08.2006**

(51) Int Cl.⁸: **B23P 9/02** (2006.01)

B24B 39/00 (2006.01)

C21D 7/04 (2006.01)

F01D 5/28 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

627143 27.07.2000 US

(73) Patentinhaber:

General Electric Co., Schenectady, N.Y., US

(74) Vertreter:

Rüger und Kollegen, 73728 Esslingen

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB, IT

(72) Erfinder:

Crall, David William, Loveland, Ohio 45140, US;

Linko, III, Peter John, Cincinnati, Ohio 45252, US

(54) Bezeichnung: **Metallischer Artikel mit integralem komprimierten Ring am Ende und Herstellungsverfahren**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Diese Erfindung betrifft ein Laufschaufelelement, bestehend aus einem metallischen Material, gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1, und ein Verfahren zum Herstellen eines Laufschaufelelementes, bestehend aus einem metallischen Material, gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 4. Ein derartiges Laufschaufelelement und Verfahren sind aus dem am nächsten kommenden Stand der Technik US-A-5,620,307 bekannt.

[0002] Energieerzeugungsvorrichtungen, wie z.B. Turbinentriebwerke, enthalten Schaufelelemente, wie z.B. Laufschaufeln und Leitschaufeln, mit einem neben einer anderen Komponente in einer Relativbewegungs- oder Rotations-Beziehung angeordneten freien Endabschnitt oder einer Spitze. Beispiele derartiger Elemente umfassen eine rotierende Kompressorlaufschaufel und eine rotierende Turbinenlaufschaufel mit einem Schaufelblatt mit einer gegenüber einem feststehenden Mantel oder einer Dichtung über einen relativ schmalen Spalt angeordneten Schaufelblattspitze. Ein derartiger Spalt ist dafür ausgelegt, einen Austritt eines Arbeitsfluids, wie z.B. von Luft und/oder Verbrennungsprodukten, durch den Spalt zu begrenzen.

[0003] Wie es allgemein bekannt ist und in Verbindung mit dem Fachgebiet von Turbinentriebwerken breit beschrieben wird, kann ein derartiges Schaufelelement bei relativ hohe Umdrehungszahlen beinhaltenden Zyklen, die manchmal zu hohen Temperaturen führen, arbeiten und solchen unterliegen. Demzufolge werden zusätzlich zu der thermischen Ausdehnung und Kontraktion des Elementes lokale und hohe Zugspannungs- und Schwingungsbeanspruchungen in den Spitzenabschnitten von Laufschaufelelementen erzeugt. Derartige Beanspruchungen entwickeln sich in einem Maße, das zur Erzeugung von wickeln sich in einem Maße, das zur Erzeugung von Trennungen oder Rissen führen kann, die in der Blattspitze beginnen und sich in den angrenzenden einteiligen Körper des Elementes ausbreiten. Ein Anstreifen sich relativ bewogender Elemente kann die Erzeugung von Trennungen oder Rissen begünstigen. Beispiele derartiger Bedingungen wurden im Fachgebiet beispielsweise in US Patenten wie 5,620,307 – Mannava et al. (erteilt am 15. April 1997) und 5,826,453 – Prevey, III (erteilt am 27. Oktober 1998) beschrieben.

[0004] Die Patente von Mannava et al. und Prevey, III beschreiben Verfahren und Vorrichtungen zum Erzeugen einer Druckrestspannung in einer Oberflächenregion, einem Bereich oder einer Schicht des Gegenstandes, die sich von einer behandelten Oberfläche aus in den Gegenstand erstrecken. Mannava et al. erzeugen eine derartige Region einer Druckrestspannung durch die Anwendung eines Verfah-

rens einer Laserschockhämmerung, das eine Druckspannung in ein Schaufelblatt aus einer Laserschock-gehämmerten Oberfläche weiterführt. Prevey, III verwendet einen Feinwalzvorgang in der Form eines Feinwalzverfahrens mit geringer Verformung. Dieses induziert eine Druckspannung in eine Oberflächenschicht auf der Oberfläche von Elementen beispielsweise auf eine Tiefe von weniger als 1,27 mm (0,05"), wie es durch die Daten in den Zeichnungen dargestellt ist, wobei die Kaltformung auf weniger als etwa 3,5 Prozent aus von Prevey, III beschriebenen Gründen beschränkt bleibt.

[0005] Die vorliegende Erfindung stellt ein Laufschaufelelement, bestehend aus einem metallischen Material, mit den Merkmalen gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und ein Verfahren zum Herstellen eines Laufschaufelelementes, bestehend aus einem metallischen Material, mit den Merkmalen gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 4. bereit. Bevorzugte Ausführungsformen werden in den abhängigen Ansprüchen beschrieben.

[0006] Die Erfindung wird nun detaillierter im Rahmen eines Beispiels unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben, deren einzige Figur eine schematische perspektivische Ansicht einer Gasturbinentriebwerks-Kompressorlaufschaufel mit einem unter Druckspannung stehenden Schaufelspitzenband gemäß der vorliegenden Erfindung darstellt.

[0007] Laufschaufeln in Turbomaschinen unterliegen einer Schwingung, die zu Rissen und Trennen von Oberflächen der Laufschaufeln führen können. Derartige Oberflächen beinhalten die Kantenabschnitte von Schaufelblättern, wie z.B. die Vorderkante, die Hinterkante und die Schaufelblattspitze. Eine Verbesserung der Ermüdungsfestigkeit des Materials, aus welchem die Laufschaufel besteht, kann die Wahrscheinlichkeit der Ausbildung von Rissen und der Ausbreitung in die Laufschaufel bis zum Ausfall verhindern. Die radialen äußeren Spitzen der rotierenden Laufschaufeln sind dem vorstehend beschriebenen Typ einer Betriebsbeschädigung nicht nur aufgrund der Betriebsbedingungen, sondern auch des möglichen Anstreichens an gegenüberliegenden zusammenwirkenden Komponenten während des Dienstbetriebs unterworfen. Die mögliche Tiefe einer derartigen Betriebsbeschädigung wurde für diese Erfindung durch die Inspektion der Beschädigung von im Dienstbetrieb betriebenen Laufschaufeln ermittelt. In einigen Fällen erstreckte sich die Tiefe einer derartigen Beschädigung bis zu 2,54 mm (0,1") von der Spitze in das und zu dem Laufschaufelblatt. Anstreifvorgänge an der Spitze können die Materialermüdungsfestigkeit in dem reibungsgeschädigten Bereich verschlechtern. Eine mit dem Bereich, in welchem eine derartige Schädigung auftreten kann, zusammenhängende Restdruckspannung kann eine Rissentstehung und/oder deren Wachstum

verhindern.

[0008] Derzeit werden Laufschaufeln aus Materialien hergestellt, die eine hohe Ermüdungsfestigkeit aufweisen. Die Ermüdungsfestigkeit wird typischerweise unter Verwendung von Oberflächenbehandlungsverfahren, wie z.B. herkömmliches Kugelhämmern, Laserschockhämmern (beschrieben von Man-nava et al.) und Niedrigverformungs-Feinwalzung (beschrieben in Prevey, III) erhöht. Zusätzlich enthält ein Artikel von Prevey et al. in Proceedings of the 5th National High Cycle Conference (2000 und mit dem Titel "FOD Resistance and Fatigue Crack Arrest in Low Plasticity Burnished IN718" eine Diskussion und Geschichte der Hochzyklusermüdung in Verbindung mit Turbinentriebwerkskomponenten und verschiedenen berichteten Oberflächenverbesserungsverfahren.

[0009] Gemäß der vorliegenden Erfindung wird die Beständigkeit gegen eine derartige Beschädigung an den Endabschnitten von Gegenständen, wie z.B. den Spitzen der Laufschaufelelemente, durch die Anordnung eines Materialbandes im Wesentlichen vollständig durch den Querschnitt des Endabschnittes oder der Spitze bereitgestellt. Das Band befindet sich im Wesentlichen über das gesamte Band hinweg statt lediglich in einer(m) Oberflächenschicht oder -bereich, mit einem Betrag der größer als der Körper des Elementes ist, unter einer Druckspannung. Auf diese Weise verhindert die vorliegende Erfindung die Entstehung und Ausbreitung von Rissen in dem Endabschnitt oder der Spitze. Für Turbinentriebwerks-Laufschaufelelemente erstreckt sich das Band von der Laufschaufelspitze radial bis zu einer Tiefe von beispielsweise etwa 2,54 mm (0,1") in das Schaufelblatt, welche gemäß Ermittlung aus einer Inspektion beschädigter im Dienst eingesetzter Elemente das Potential hat, eine Betriebsbeschädigung zu erfahren. Jedoch erstreckt sich das Band von der Laufschaufelspitze aus bis auf eine geringere Tiefe als eine Stelle in dem Schaufelblatt, an welchem die Zugspannungen in dem Schaufelblatt, die für den Ausgleich der Druckspannung in dem Band erforderlich ist, so hoch sind, dass sie für eine oder mehrere Schwingungsreaktionsmodi schädlich sind, die in dem Fachgebiet als für jede einzelne Schaufelblattkonstruktion einzigartig bekannt sind. Typischerweise sind derartige schädliche Stellen größer als etwa 10% der Schaufelblattspannenlänge von der Spitze aus, wie beispielsweise 5,08 mm (0,2") radiale Tiefe von der Spitze bei einem 50,0 mm (2") langen Schaufelblatt.

[0010] Die vorliegende Erfindung wird durch Bezugnahme auf die Zeichnung vollständig verständlich. Die Zeichnung ist eine schematische perspektivische Ansicht eines Gasturbinentriebwerks-Kompressorlaufschaufelelementes, das eine Laufschaufel eines rotierenden Kompressors oder einer rotierenden Tur-

bine repräsentiert. Die allgemein bei **10** dargestellte Kompressorlaufschaufel enthält ein Schaufelblatt **12** und eine Basis **14**. In einigen Beispielen enthält die Laufschaufel im Allgemeinen eine Plattform **16**, die zwischen dem Schaufelblatt **12** und der Basis **14** angeordnet ist. Das Schaufelblatt **12** enthält einen Endabschnitt oder Spitzenabschnitt **18** in einem Stück und radial außerhalb von dem restlichen oder darunter liegenden Körper des Schaufelblattes **12**. Typischerweise bestehen Gasturbinentriebwerks-Laufschaufeln aus einer Legierung auf der Basis von wenigstens einem der Elemente Ti, Fe, Ni und Co. Beispiele derartiger Legierungen, die im Handel erhältlich sind umfassen eine Ti 6-4 Legierung, Ti 6-2-4-2 Legierung, A-286 Legierung, C 450 Legierung, In 718 Legierung und Rene' 95 Legierung.

[0011] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist das Schaufelblatt an der Spitze **18** mit einem Band **20** aus einer Schaufelblattlegierung in einem Stück mit dem Schaufelblatt **12** und unter einer Restdruckspannung, die größer als die des Schaufelblattes **12** ist, zusammenhängend mit und in einem Stück mit dem Band **20** versehen. Das Band **20** erstreckt sich im Wesentlichen durch den gesamten Querschnitt des Schaufelblattes **12** zwischen der Vorderkante **22**, der Hinterkante **24**, der Druckseite **26** und Saugseite **28**. In dem Beispiel eines Laufschaufelelementes mit einer Spitze der Anstreif-Bauart erstreckt sich das Band im Wesentlichen durch den gesamten Querschnitt der Anstreifspitze.

[0012] Es wird bevorzugt, dass die Restdruckspannung in dem Band in dem Bereich zwischen etwa 68947 kPa (10 ksi) bis zu der Elastizitätsgrenze des Materials liegt. In einem Beispiel, in welchem die Legierung eine Legierung auf In 718 Ni-Basis war, wurde eine Restdruckspannung in dem Band 20 in dem Bereich von etwa 344737 kPa–1034213 kPa (50–150 ksi) vorgezogen. Bevorzugt weist das Band **20** eine Tiefe in das Schaufelblatt **12** bis auf zu einem Wert auf, der durch eine unterbrochene Linie **30** dargestellt wird. Die Bandtiefe in jedem Schaufelblatt wird durch Inspektion des Auftretens einer Beschädigung von im Dienst betriebenen Schaufelblättern ermittelt, und so gewählt, dass sie ausreicht, einer derartigen Betriebsbeschädigung zu widerstehen. Zusätzlich wird, wie es vorstehend beschrieben wurde die Tiefe so gewählt, dass sie kleiner als die ist, welche übermäßige, potentiell schädliche Restzugspannungen in dem Schaufelblatt erfordert, um die Druckrestspannung in dem Band auszugleichen.

[0013] Die Kaltverformung in einigen herkömmlichen Beispielen bekannter Restdruckspannungen in Oberflächenschichten von Gegenständen war auf weniger als etwa 3,5% beschränkt. Jedoch kann das Band der Druckrestspannung gemäß der vorliegenden Erfindung eine Kaltverformung bis etwa zu der Elastizitätsgrenze des Materials ohne Verschlechter-

rung des Bandes beinhalten. Beispielsweise kann eine Kaltverformung bis zu wenigstens etwa 15% für Ni-basierende Legierungen und etwa 10% für Ti-basierende Legierungen betragen.

[0014] Bei der Herstellung eines Laufschaufelelementes ist die in der Herstellungsvorform des Schaufelblattes erzeugte Tiefe des Bandes der Druckrestspannung vor der Endbearbeitung im Allgemeinen größer als die des fertig gestellten Artikels. Eine derartige Vorformtiefe beinhaltet die Summe der Tiefe, die während der Herstellung von der Blattspitze aus zu beschneiden ist, um einen Konstruktionsabstand oder -toleranz, welche manchmal als Beschnittlänge bezeichnet wird, und die Tiefe, die für den fertiggestellten Artikel gewählt wird, um der Betriebsbeschädigung zu widerstehen.

[0015] Das Verfahren zum Erzeugen des Bandes **20** in dem Schaufelblatt **12** ist eine Kaltwalzverformung des Bandes. Ein Beispiel ist die Anwendung eines Einpunktdruck- oder Kaltverformungsverfahrens, das das Schaufelblatt **12** bei der Spitze **18** überquert und sich auf bis zu einer Tiefe **30** erstreckt, um das Band **20** auszubilden. Die Tiefe **30** ist gemäß vorstehender Beschreibung als das Ausmaß des Bandes **20** in das Schaufelblatt **12** hinein gewählt. Dann wird Druck quer zu dem Schaufelblatt bis zur Tiefe **30** ausgeübt, bis eine gewählte Druckrestspannung in dem Band **20** im wesentlichen durch das gesamte Schaufelblatt entwickelt wird. Ein Beispiel einer Vorrichtung, die dazu verwendet werden kann, das Band **20** zu erzeugen, ist in dem vorstehend angegebenen und diskutierten Prevey, III US Patent 5,826,453 enthalten.

Patentansprüche

1. Schaufelelement (**10**), bestehend aus einem metallischen Material, wobei das Schaufelelement (**10**) aufweist:
ein Schaufelblatt (**12**); und
einen Spitzenabschnitt (**18**) in einem Stück mit dem Schaufelblatt (**12**);
wobei der Spitzenabschnitt (**18**) ein Band (**20**) aus dem metallischen Material durch den gesamten Querschnitt des Spitzenabschnittes (**18**) hindurch aufweist;
das Band (**20**) unter einer größeren Druckspannung als das Schaufelblatt (**12**) steht und **dadurch gekennzeichnet**, dass:
sich das Band (**20**) in das Schaufelblatt (**12**) hinein bis auf eine geringere Tiefe (**30**) als eine Stelle erstreckt, an welcher ein Anteil der Zugspannung in dem Schaufelblatt (**12**), der für den Ausgleich der Druckspannung in dem Band (**20**) erforderlich ist, in wenigstens einem für das Schaufelblatt (**12**) spezifischen Schwingungsreaktionsmodus schädlich ist.

2. Schaufelelement (**10**) nach Anspruch 1, in welchem:

das metallische Material eine Legierung auf der Basis von wenigstens einem Element ist, das aus der aus Ti, Fe, Ni und Co bestehenden Gruppe ausgewählt wird;

das Band (**20**) sich radial in das Schaufelblatt (**12**) bis auf eine Tiefe (**30**) erstreckt, die aufgrund einer Betriebserfahrung ausgewählt wird; um einer Betriebsbeschädigung zu widerstehen.

3. Schaufelelement (**10**) nach Anspruch 2, in welchem die Stelle größer als etwa 10% einer Spannweite des Schaufelblattes (**12**) ist.

4. Verfahren zum Herstellen eines Schaufelelementes (**10**) aus einem metallischen Material, wobei das Schaufelelement ein Schaufelblatt (**12**) und einen Spitzenabschnitt (**18**) in einem Stück mit dem Schaufelblatt (**12**) aufweist, der Spitzenabschnitt (**18**) ein Band (**20**) aus einem metallischen Material über den gesamten Querschnitt des Spitzenabschnittes (**18**) und in einem Stück mit dem und in das Schaufelblatt (**12**) hinein aufweist, wobei das Band unter einer größeren Druckspannung als das Schaufelblatt steht, gekennzeichnet durch die Schritte:

Durchführen einer Walzverformung des Spitzenabschnittes (**18**) bis zu der Tiefe in den Spitzenabschnitt (**18**) bis die Druckspannung über den gesamten Querschnitt des Spitzenabschnittes (**18**) gegeben ist, und

Auswählen einer Tiefe des Bandes in dem Spitzenabschnitt so, dass sie kleiner als eine Stelle ist, an welcher ein zu großer schädlicher Anteil an Restzugspannung in dem Schaufelblatt (**12**) erforderlich ist, um die Druckspannung in dem Band (**20**) beispielsweise in wenigstens einem für das Schaufelblatt (**12**) spezifischen Schwingungsreaktionsmodus auszugleichen.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei die Tiefe des Bandes (**20**) ausgewählt wird, indem das Schaufelblatt (**12**) eines während des Betriebs beschädigten Schaufelelementes (**10**), inspiziert und die Tiefe ausreichend vorgesehen wird, um einer Betriebsbeschädigung zu widerstehen.

6. Verfahren nach Anspruch 4, in welchem die Stelle größer als etwa 10% einer Spannweite des Schaufelblattes (**12**) ist.

7. Verfahren nach Anspruch 4, zum Herstellen eines Schaufelelementes, wobei das metallische Material eine Legierung ist, die aus wenigstens einem Element basiert, das aus der aus Ti, Fe, Ni und Co bestehenden Gruppe ausgewählt wird; und die Druckspannung in dem Bereich von etwa 68947 kPa (10 ksi) bis etwa zu der Elastizitätsgrenze des metallischen Materials liegt.

8. Verfahren nach Anspruch 7, in welchem die Druckspannung in dem Bereich von etwa 344737 bis

1034213 kPa (50 bis 150 ksi) liegt.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

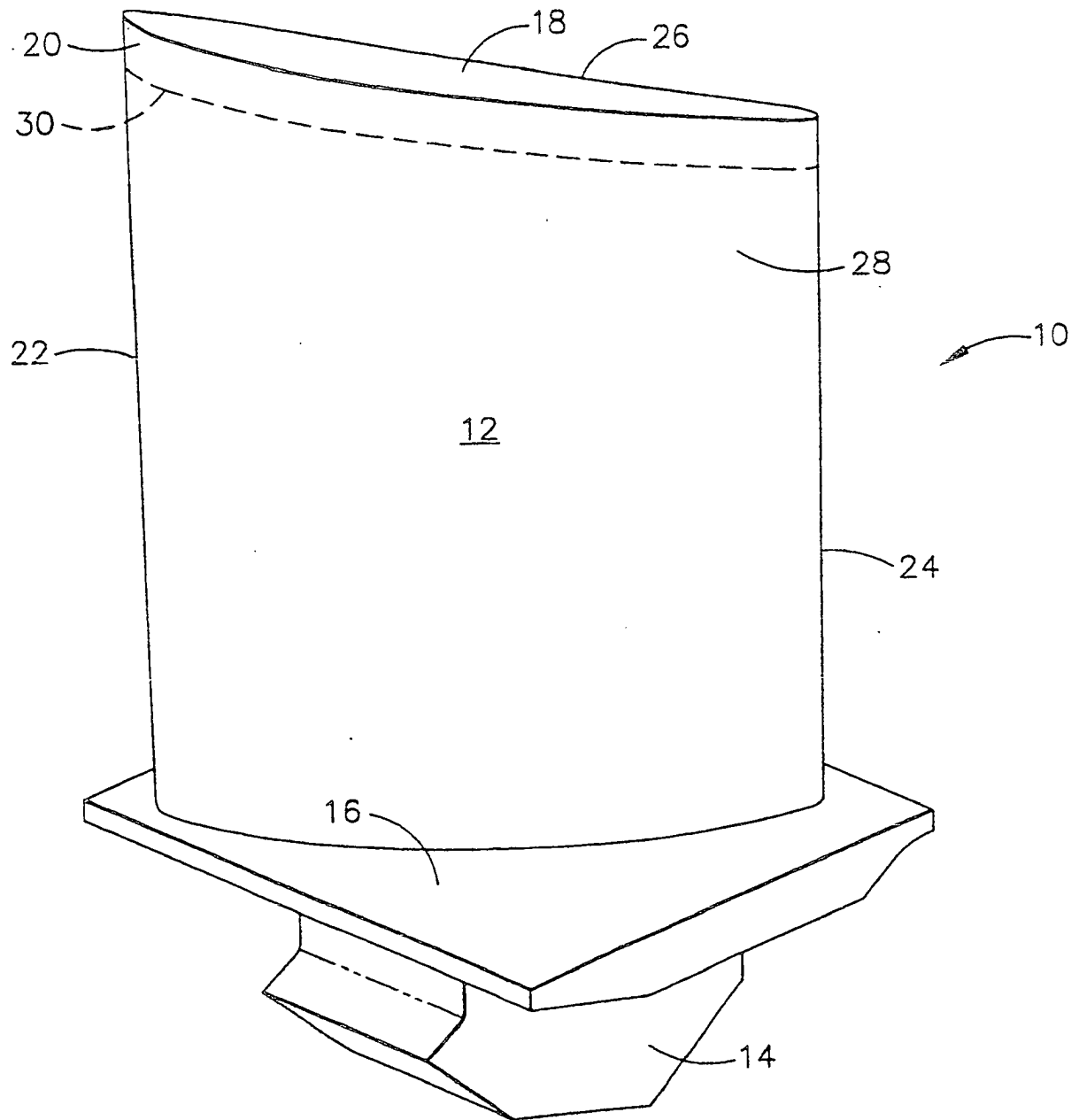


FIG. 1