

(19)



(11)

EP 2 773 476 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
02.03.2016 Patentblatt 2016/09

(51) Int Cl.:
B22F 3/115 ^(2006.01) **B22D 23/00** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **12780401.1**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/DE2012/000960

(22) Anmeldetag: **02.10.2012**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2013/050018 (11.04.2013 Gazette 2013/15)

(54) RIBLETFOLIE UND VERFAHREN ZU DEREN HERSTELLUNG

METALLIC RIBLET FILM AND METHOD OF MANUFACTURE

FEUILLES MÉTALLIQUES PRÉSENTANT DES SURFACES TEXTURÉES DE RÉDUCTION DE FROTTEMENT ET PROCÉDÉS DE FABRICATION DE CELLES-CI

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(30) Priorität: **05.10.2011 DE 102011114832**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
10.09.2014 Patentblatt 2014/37

(73) Patentinhaber: **Airbus Defence and Space GmbH**
85521 Ottobrunn (DE)

(72) Erfinder:
• **GAMMEL, Franz**
85521 Ottobrunn (DE)
• **ROHR, Oliver**
85521 Ottobrunn (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A2- 0 794 265 WO-A1-01/09405
WO-A1-2010/017289 JP-A- 63 286 563
US-A- 3 608 615 US-A- 6 043 451

EP 2 773 476 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Ribletfolie und ein Verfahren zu deren Herstellung. Insbesondere ist die Ribletfolie aus metallischem Material und wird schichtweise auf einer Bezugsform aufgebaut. Die Ribletfolie weist eine Ribletstruktur auf, die den Luftwiderstand reduziert.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

[0002] Die Verringerung des Treibstoffverbrauchs und die Reduzierung von Kohlenstoffdioxid / Stickstoffdioxid (CO₂/NO_x) Emissionen sind wichtige zu erfüllende Ziele, insbesondere von der Luftfahrtindustrie oder Automobilindustrie. Neben Leichtbau zur Gewichtsreduzierung und Verbesserung des Wirkungsgrades von Antrieben, stellt die Reduzierung des Luftwiderstandes einen wesentlichen Baustein zur Erreichung dieser Ziele dar.

[0003] Verfahren zur Herstellung von Oberflächen, die den Luftströmungswiderstand reduzieren, sind bekannt. Es ist seit langem bekannt und in Ölkanalversuchen nachgewiesen, dass durch geeignete Strukturierung von festen Oberflächen der Widerstand von darüber strömenden flüssigen oder gasförmigen Medien reduziert werden kann. Die Strukturierung der festen Oberfläche hat dabei unterschiedliche Formen und Größen. Aus Bechert, D.W. et al, Experiments on drag-reducing surfaces and their optimization with adjustable geometry, Journal of Fluid Mechanics, Vol. 338, pp. 59-97, 1997, ist bekannt eine strukturierte Kunststoffolie auf Körper aufzukleben.

[0004] Basierend darauf wurden von Luftfahrtunternehmen wie Airbus und Boeing Versuche durchgeführt, bei denen Kunststofffolien entsprechender Strukturierung von der Firma 3M, auf die Außenfläche eines Flugzeugs aufgeklebt waren. Bei Flugversuchen mit einem Großflugzeug, dessen Oberfläche zu 70% mit einer solchen Kunststoffolie beklebt war, konnte eine Widerstandsverminderung von 2% nachgewiesen werden (Szodrach J., Dziomba, B., Aircraft Drag Reduction Technologies, 29th Aerospace Science Meeting, Reno, Nevada, 07-10 Jan. 1991). Dies führte zu einer Treibstoffersparnis von 1,5% (Roberts J.P., Drag Reduction: An Industrial Challenge, Special Course on Skin Friction Drag Reduction, AGARD Report 786, 1992).

[0005] Die bislang verwendeten strukturierten Kunststoffolien haben aber nicht nur mangelnde mechanische Beständigkeit sondern weisen auch eine Degradation der Kunststoffolie und des Klebers auf, mit dem die Kunststoffolien am Flugzeug haften. Eine Folge der mangelnden mechanischen Beständigkeit ist beispielsweise die Verrundung des Spitzenradius einer sägezahnförmigen Strukturierung, die zu einer Aufhebung der reibungsvermindernden Wirkung führen kann. (Hage, W., Zur Widerstandsverminderung von dreidimensionalen Rib-

letstrukturen und anderer Oberflächen, Dissertation TU Berlin 2004). Die Degradation kann auch zu einer Ablösung der Kunststoffolien während des Betriebes führen.

[0006] In einer noch nicht veröffentlichten Patentanmeldung der Anmelderin ist beschrieben, dass durch die Verwendung von strukturierten Metallfolien beispielsweise an einem Strukturbauteil eines Flugzeugs oder Helikopters, der Luftströmungswiderstand deutlich reduziert werden kann. Dazu weist die Struktur auf der Metallfolie Riblets auf, die mikroskopisch kleine Rillen auf der Oberfläche der Metallfolie sind. Solche strukturierten Metallfolien werden im Folgenden als Ribletfolie bezeichnet. Die mechanische Beständigkeit der Ribletfolie ist höher als bei Kunststoffolien. Bei der Verwendung von Ribletfolien auf faserverstärkten Kunststoffstrukturen ist gleichzeitig auch die elektrische Leitfähigkeit gegeben, um Blitzschutz bereitzustellen.

[0007] Für die Herstellung von strukturierten Metallfolien ist beispielsweise aus DE10314373A1 ein Feingussverfahren bekannt, mit dem Turbinenschaufeln aus Titanaluminiden (TiAl) mit strukturierter Oberfläche hergestellt werden. Auch ist die Strukturierung metallischer Oberflächen durch Laserbearbeitung oder Schleifen beispielsweise bekannt aus Oehlert et. Al., Exploratory Experiments on Machined Riblets for 2-D Compressor Blades, Proceeding of IMECE2007, 2007 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, November 11-15, 2007, Seattle, Washington, USA.

[0008] Eine solche direkte Strukturierung durch Gussverfahren oder abtragende Verfahren (Strukturierung durch Laser oder Mikrofräsen etc.) ist jedoch bei der erforderlichen Größe der Flächen der Flugzeuge, Helikopter oder anderem Fluggerät weder technisch noch wirtschaftlich anwendbar.

[0009] Hingegen sind für die Herstellung von Ribletfolien in erforderlicher Menge und/oder Größe Fertigungsverfahren bekannt, bei denen Metallfolien durch mechanische Bearbeitung strukturiert werden. Beispielsweise sind dies mechanische (Um)Formverfahren wie Walzen (einschließlich inkrementeller Verfahren wie das sogenannte "incremental rolling") oder Prägen.

[0010] Um bei diesen bekannten Fertigungsverfahren auf der Metallfolie scharfkantige Strukturen zu erzeugen, müssen die verwendeten Werkzeuge, beispielsweise Walzen, mit hohem Druck auf die Metallfolie gepresst werden. Solche Werkzeuge sind üblicherweise aus einem massiven Vollkörper gebildet, beispielsweise aus Stahl. Auch müssen solche Werkzeuge aus entsprechendem Material gefertigt sein, wenn beispielsweise erhöhte Temperaturen nötig sind, um die Metallfolie durch plastische Verformung so zu verändern, dass eine Ribletfolie entsteht. Hochfeste Werkstoffe wie beispielsweise beta-Titanlegierungen, deren Festigkeiten Werte bis zu 1700 MPa erreichen, können durch Umformdruck nicht mehr ausreichend plastifiziert werden, so dass die Ribletstruktur nicht oder nur grob auf der Metallfolie erzeugt werden kann.

[0011] Aus der WO 2010/017289 A1 sind Metallbleche und Metallplatten mit reibungsmindernden strukturierten Oberflächen und ein Herstellungsverfahren dazu bekannt. Dabei wird eine Aluminiumfolie mit Ribletstruktur offenbart, welche durch Walzen hergestellt wird. Die Oberfläche der so hergestellten Aluminium-Ribletfolie kann darüber hinaus durch eine Schutzschicht veredelt werden.

[0012] In der WO 01/09405 A1 wird eine Luftwiderstandsverminderung für Gasturbinenkomponenten beschrieben. Dabei wird eine Riblet-Schicht durch thermisches Spritzen unter Verwendung einer Maske auf ein Substrat aufgebracht.

[0013] Die US 3 608 615 A bezieht sich auf eine Ablagerung von verdampftem Material auf einer Kondensationsfläche zur Folienbildung. Insbesondere beschreibt diese Veröffentlichung die kontinuierliche Kondensation von Metaldämpfen auf einer rotierenden Trommel und das kontinuierliche Abziehen der verfestigten Folie von der Trommel. Dabei wird allgemein die Herstellung von Metallfolien durch Sprühkompaktieren unter Verwendung einer Negativform beschrieben.

[0014] In der JP 63 286563 A wird allgemein die Produktion von dünn geformten Produkten offenbart. Hierbei erfolgt wiederum die Herstellung von Metallfolien durch Sprühkompaktieren. Dabei wird der Metallstrahl auf die Oberfläche einer Walze gesprüht, so dass ein Endlosfilm hergestellt werden kann.

[0015] Es ist Aufgabe der Erfindung, eine Ribletfolie und ein Verfahren zu deren Herstellung anzugeben, das die Nachteile des Stands der Technik überwindet und kostengünstig einsetzbar ist bei geringem technischen Aufwand.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0016] Diese Aufgabe wird mit einem Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Bevorzugte Ausführungsformen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben. Eine Ribletfolie ist in Anspruch 9 angegeben.

[0017] Der Erfindung liegt der Gedanke zugrunde, ein einfaches Verfahren zur Herstellung von metallischen Ribletfolien anzugeben, wobei die mechanischen und funktionellen Eigenschaften der Ribletfolie an die Erfordernisse der jeweiligen Anwendung durch geeignete Wahl der unterschiedlichsten Metalle und/oder -legierungen angepasst werden kann. Die Ribletfolie wird durch einen schichtweisen Aufbau auf einer Bezugsform hergestellt und von dieser dann abgelöst. Die Bezugsform weist auf wenigstens einer Fläche eine Struktur auf, die einer Negativform wenigstens einer Ribletstruktur entspricht. Die Negativform weist mikroskopisch kleine Vertiefungen auf der Fläche der Bezugsform auf. Nach dem Ablösen von der Bezugsform sind Riblets als mikroskopisch kleine Erhebungen/Spitzen auf der gebildeten Ribletfolie. Die Riblets können auf der gesamten Ribletfolie ausgebildet sein oder in ausgewählten Teilberei-

chen vorhanden sein. Entsprechend ist die Fläche der Bezugsform strukturiert.

[0018] Mit anderen Worten ist es angedacht, unabhängig von der erforderlichen Größe, Form oder Beschaffenheit der Ribletfolie, ein einfaches Verfahren anzugeben, wodurch aus einem beliebigem Metallpulver die gewünschte Form, Größe und Beschaffenheit der Ribletfolie hergestellt werden kann. Sowohl die Dicke der Ribletfolie selbst, als die Größe und Form der Riblets ist mit dem erfindungsgemäßen Verfahren variabel herstellbar. Vorteilhaft ist die Dicke der Ribletfolie weniger als 500 µm und hat vorteilhaft eine Dicke zwischen 50 - 400 µm, insbesondere mindestens 200 µm. Die Dicke der Ribletfolie gewährleistet bei geringst möglichem Gewicht eine einfache Anpassung an das jeweilige Bauteil auf dem sie aufgebracht wird.

[0019] Erfindungsgemäß ist ein Verfahren vorgesehen, das zur Herstellung einer Ribletfolie dient, wobei die Ribletfolie schichtweise aufgebaut wird. Eine Bezugsform weist auf wenigstens einer Fläche eine Struktur auf, die einer Negativform wenigstens einer Ribletstruktur entspricht. Auf dieser Fläche wird wenigstens ein Schichtabschnitt aus einem Metallpulver so aufgebracht, dass sich ein metallischer Werkstoff bildet. Das Aufbringen weiterer Schichtabschnitte aus Metallpulver in vertikaler oder horizontaler Richtung auf der Fläche der Bezugsform kann beliebig oft wiederholt werden. Der so gebildete wenigstens eine Schichtabschnitt wird von der Bezugsform abgelöst, so dass die metallische Ribletfolie gebildet wird. Diese weist auf wenigstens einer Fläche eine Ribletstruktur auf.

[0020] Das Pulver aus Metall oder Metalllegierung umfasst wenigstens alle Leichtmetalle in den Hauptgruppen oder Nebengruppen des Periodensystems, insbesondere Aluminium oder Titan und Mischungen hiervon, wobei auch verstärkende Partikel in das Metall/legierungspulver gemischt werden können, als auch Hartmetalle. Die Hartmetalle umfassen wenigstens einen Verbundwerkstoff aus einer Verstärkungsphase wie Wolframcarbid (WC) und einer Matrix oder Bindemittel wie Cobalt. Selbstverständlich umfassen die Metalle auch Metalllegierungen, die wenigstens eines der genannten Metalle einschließlich Kupfer, Zink, Lithium, Beryllium, Scandium, Vanadium oder Yttrium enthalten und insbesondere auch Stahllegierungen; bevorzugt Titan/-legierungen oder Stahllegierungen, insbesondere Aluminium/-legierungen.

[0021] Die Bezugsform kann aus den verschiedensten Materialien gebildet sein. Bevorzugt ist die Bezugsform oder die Fläche, die die genannte Struktur aufweist, aus Materialien gebildet, die eine hohe Beständigkeit haben und sich kaum abnutzen, beispielsweise Stahl X45NiCrMo4, der bekanntermaßen für Präge- und Umformwerkzeuge eingesetzt wird und gut polierbar ist.

[0022] Die Fläche der Bezugsform umfasst eine Struktur, die einer Negativform wenigstens einer Ribletstruktur entspricht, die durch mehrere trapezförmige, halbkreisförmige, stromlinienförmige und/oder sägezahnförmige

Riblets oder eine Kombination hiervon gebildet ist. Die Negativform der Riblets umfassen einen Größenbereich mit einer Ribletbreite von etwa 20 μm bis 130 μm , bevorzugt 30 μm bis 80 μm , insbesondere 50 μm bis 60 μm , speziell 60 μm . Wenigstens eine Negativform eines Riblets weist eine Höhe auf, die halb so groß ist wie der Abstand zu einem ihm benachbarten Riblet.

[0023] Das Aufbringen eines Schichtabschnitts auf der Fläche der Bezugsform erfolgt schichtweise. Nach und nach können eine oder mehrere Schichten aus gleichem oder verschiedenem Metallpulver aufgebracht werden. Vorteilhafterweise kann der erste Schichtabschnitt aus einem Titanpulver (oder Titanlegierung) aufgebracht werden und die restlichen Schichtabschnitte aus Aluminiumpulver. Die so gebildete Ribletfolie hat sehr robuste beständige Riblets und eine Basis die kostengünstig aus Aluminium hergestellt ist. Zudem kann Aluminium durch dem Fachmann bekannte Verfahren wie Anodisieren mit einer für eine Verklebung ideal geeigneten Oberfläche ausgestattet werden.

[0024] Die Beschaffenheit der strukturierten Fläche, insbesondere die gute Polierbarkeit, ermöglicht ein einfaches Lösen der(s) aufgetragenen Schichtabschnitte(s) von der Bezugsform.

[0025] Das Aufbringen des Metallpulvers auf das Bezugsformstück erfolgt bevorzugt durch Aufspritzen des Metallpulvers. Beispielsweise wird das Metallpulver schichtweise aufgetragen durch Kaltgasspritzen ("cold gas spray"), thermokinetisches Spritzen (z.B. Flamecon® der Firma Leoni), plasmaunterstütztes Auftragen (z.B. Plasmadust® der Firma Reinhausen Plasma) oder bekannte thermische Spritzverfahren wie Flammsspritzen, Plasmaspritzen oder HVOF (High Velocity Oxygen Fuel). Hierbei ist es möglich Strukturen mit Geometrien von wenigen μm zu bilden. Die gebildeten Ribletstrukturen umfassen einen Größenbereich mit einer Ribletbreite von etwa 20 μm bis 130 μm , bevorzugt 30 μm bis 80 μm , insbesondere 50 μm bis 60 μm . Die Riblethöhe umfasst einen Bereich von 50-100% der Ribletbreite. Die Riblethöhe kann gleich Ribletbreite sein oder eine Kombination aus einem der angegebenen Größenbereiche umfassen. Entsprechend ist die Struktur der Negativform auf der Bezugsform ausgebildet.

[0026] Beim Aufbau des wenigstens einen Schichtabschnitts durch Aufspritzen wird das Metallpulver mit hoher Energie auf die Fläche der Bezugsform beschleunigt. Beim Aufprall der Metallpartikel verbinden sich diese durch plastische Verformung oder Kaltverschweißung zu einem metallischen Werkstoff. Beim Kaltgasprozess wird dazu ein aufgeheiztes Gas beschleunigt und das Metallpulver wird in den Gasstrahl injiziert und durch diesen beschleunigt. Beim Plasmaspritzen als Beispiel thermischer Spritzverfahren wird in einer normalen oder inerten Atmosphäre oder Vakuum ein Lichtbogen zwischen der Kathode und Anode des Plasmabrenners erzeugt. Das durch den Plasmabrenner strömende Gas wird durch den Lichtbogen geleitet und ionisiert. In dieses aufgeheizte Gas wird das Metallpulver eingedüst und

durch die hohe Plasmatemperatur geschmolzen/plastifiziert. Der Plasmastrahl beschleunigt die Metallpartikel in Richtung Fläche der Bezugsform. Nach dem Aufprall verbinden sich die Metallpartikel zu einer dichten, miteinander fest haftenden Schicht durch plastische Verformung und/oder Kaltverschweißung bzw. Erstarrung.

[0027] Das Aufspritzen des wenigstens einen Schichtabschnitts hat den Vorteil, dass eine viel höhere Abscheiderate auf der Bezugsform erzielt werden kann als im Stand der Technik bei einer galvanischen Abscheidung beispielsweise. Dies ermöglicht eine wirtschaftlich rentable Herstellung insbesondere von großen Ribletfolien, beispielsweise für die Tragfläche eines Flugzeugs wie der A380 der Firma Airbus Operations GmbH. Auch kann nahezu jedes Metallpulver verwendet werden, wobei die Korngröße variieren kann und der Größe der Riblettstruktur entsprechend von wenigen nm bis mehreren hundert μm ausgewählt wird.

[0028] Der wenigstens eine Schichtabschnitt kann eine unterschiedliche Dicke aufweisen. Die Schichtdicke kann variabel sein, beispielsweise können die Randbereiche dicker oder dünner als die Mitte des Schichtabschnitts gebildet sein. Auch kann der gesamte Schichtabschnitt mit einer im Wesentlichen konstanten Dicke gebildet werden.

[0029] Die Bezugsform kann einmalig verwendet werden oder für mehrfachen Gebrauch vorgesehen sein. Eine wiederverwendbare Bezugsform ist kostengünstig und kann für die Herstellung von Ribletfolien aus verschiedenen Metallpulvern dienen, wobei die Riblettstruktur identisch ist.

[0030] In einem weiteren Ausführungsbeispiel ist die Bezugsform als Walze ausgebildet. Dies ermöglicht eine kontinuierliche Herstellung der erfindungsgemäßen Ribletfolie.

[0031] Vorteilhafterweise kann die Dicke der Ribletfolie über die Umdrehungsgeschwindigkeit der Walze eingestellt werden. Bei niedriger Umdrehungsgeschwindigkeit wird eine Dicke von beispielsweise 400 μm gebildet. Soll die Ribletfolie hingegen dünn sein, beispielsweise 200 μm wird die Umdrehungsgeschwindigkeit der Walze einfach erhöht. Dadurch wird eine einfache Regelung der Dicke der Ribletfolie ermöglicht.

[0032] Die metallische Ribletfolie kann zumindest teilweise veredelt werden. Dies umfasst beispielsweise eine Rückseitenbeschichtung mit einem Kleber, die Funktionalisierung der Oberflächen durch eine Beschichtung oder eine Modifizierung der Oberfläche, so dass diese schmutzabweisend oder vereisungsverhindernd sind.

KURZE BESCHREIBUNG DER FIGUREN

[0033] Nachfolgend wird die Erfindung beispielhaft anhand von in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispielen beschrieben. Zum einfacheren Verständnis wurde auf eine maßstabsgetreue Wiedergabe verzichtet.

Fig. 1 a zeigt die Herstellung einer Ribletfolie nach

einem ersten Ausführungsbeispiel;

Fig. 1 b zeigt die abgelöste Ribletfolie mit trapezförmiger Ribletstruktur;

Fig. 2 zeigt die Herstellung einer Ribletfolie nach einem zweiten Ausführungsbeispiel.

AUSFÜHRUNGSBEISPIELE DER ERFINDUNG

[0034] In Fig. 1a ist skizzenhaft die Herstellung einer Ribletfolie gezeigt. Eine Bezugsform 11 weist auf einer Fläche 12 eine Ribletstruktur 13 auf. Mit einer Beschichtungsanlage 16 werden Metallpartikel 15 eines Metallpulvers mit hoher Geschwindigkeit zur Fläche 12 beschleunigt. Beim Aufprall verformen sich die Metallpartikel 15 und verbinden sich zu einem metallischen Werkstoff. Beim kontinuierlichen Aufspritzen von Metallpartikeln 15 auf die Fläche 12 wird schichtweise der Schichtabschnitt 14 aufgebaut. Das Aufspritzen des Metallpulvers wird beendet, wenn die Dicke des Schichtabschnitts 14 die für eine Anwendung erforderliche Dicke erreicht hat.

[0035] Die Beschichtungsanlage 16 ist in diesem Ausführungsbeispiel eine Anlage für Kaltgasspritzen. Ein Trägergas wird komprimiert und durch Entspannung in einer Düse auf eine Geschwindigkeit beschleunigt, die unterhalb der Schallgeschwindigkeit des Trägergases liegt. Das Metallpulver wird in den Gasstrahl injiziert. Das Trägergas hat eine Temperatur die unterhalb der Schmelztemperatur der Metallpartikel 15 liegt, so dass diese nicht schmelzen. Die Metallpartikel 15 verformen sich beim Aufprall auf die Fläche 14, wobei die daraus resultierende lokale Wärmefreigabe für Kohäsion und Haftung für die Bildung der Schichtabschnitt 14 sorgen, so dass ein metallischer Werkstoff gebildet wird.

[0036] Fig. 1 b zeigt die abgelöste Ribletfolie mit trapezförmiger Ribletstruktur.

[0037] Die Ribletfolie 10 hat eine Basis 18 sowie eine Ribletstruktur 17 mit trapezförmigen Riblets. Die Bezugsform 11 ist wiederverwendbar zur Herstellung einer weiteren metallischen Ribletfolie 10.

[0038] Fig. 2 zeigt die Herstellung einer Ribletfolie mit einer Walze 11 als Bezugsform. Die Walze 11 hat auf der Fläche 12 eine in Fig. 2 aus Gründen der Übersicht nicht gezeigte Negativform einer Ribletstruktur 13.

[0039] Mit der Beschichtungsanlage 16, wie bei Fig. 1 beschrieben, werden Metallpartikel 15 auf hohe Geschwindigkeiten beschleunigt und prallen mit hoher kinetischer Energie auf die Fläche 12 der Walze 11. Durch plastische Verformung der Metallpartikel 15 und Kaltverschweißung verbinden sich die Metallpartikel 15 zu einem dichten Schichtabschnitt 14, so dass ein metallischer Werkstoff gebildet wird.

[0040] Die Umdrehungsgeschwindigkeit der Walze 11 bestimmt die Dicke des Schichtabschnitts 14. Wenn die Umdrehungsgeschwindigkeit der Walze 11 niedrig ist, treffen die Metallpartikel 15 auf eine zuvor gebildete

Schicht, so dass der Schichtabschnitt 14 insgesamt dicker wird. Die Dicke des Schichtabschnitts 14 hängt von mehreren Faktoren ab, beispielsweise der Umfang der Walze 11, die Geschwindigkeit der Beschichtungsanlage relativ zur Breite der Walze 11.

[0041] Bei kontinuierlicher Drehung der Walze 11 und Aufspritzen des Metallpulvers durch die Beschichtungsanlage 16 wird ein kontinuierlicher Schichtabschnitt 14 hergestellt. Dieser wird von einer Abrollwalze 19 aufgenommen und durch Drehen der Abrollwalze 19 entgegen dem Drehsinn der Walze 11 von dieser abgelöst.

[0042] Die kontinuierliche Ribletfolie 10 hat eine Basis 18 und eine Ribletstruktur 17, die in Fig. 2 aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht gezeigt sind, jedoch vergleichbar mit der Ribletstruktur 17 aus Fig. 1 b sind.

BEZUGSZEICHENLISTE

[0043]

10	Ribletfolie
11	Bezugsform, Walze
12	Fläche
13	Ribletstruktur
14	Schichtabschnitt
15	Metallpartikel
16	Beschichtungsanlage
17	Ribletstruktur
18	Basis
19	Abrollwalze

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer metallischen Ribletfolie (10) durch schichtweisen Aufbau, wobei die Ribletfolie (10) durch zumindest einmaliges Durchführen der folgenden Schritte aufgebaut wird, umfassend:

- Bereitstellen einer Bezugsform (11), die auf wenigstens einer Fläche (12) eine Struktur aufweist, die einer Negativform wenigstens einer Ribletstruktur (13) entspricht;
- Aufbringen wenigstens eines Schichtabschnitts (14) aus einem Metallpulver auf der wenigstens einen Fläche (12) der Bezugsform (11) in solcher Weise, dass sich der wenigstens eine Schichtabschnitt (14) als metallischer Werkstoff bildet;
- Lösen des wenigstens einen Schichtabschnitts (14) von der Bezugsform (11), so dass die metallische Ribletfolie (10) gebildet wird, die auf wenigstens einer Fläche eine Ribletstruktur (10) aufweist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Aufbringen des wenigstens ei-

nen Schichtabschnitts (14) durch Aufspritzen eines Metallpulvers gebildet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein erster Schichtabschnitt (14) aus einem Metallpulver aufgebracht wird, das Titan oder dessen Legierungen umfasst und ein zweiter Schichtabschnitt (14) aus einem Metallpulver aufgebracht wird, das Aluminium oder dessen Legierungen umfasst.
4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dicke des wenigstens einen Schichtabschnitts (14) unterschiedlich ist.
5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Bezugsform (11) wiederverwendbar ist.
6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Bezugsform (11) als Walze (11) ausgebildet ist.
7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dicke des wenigstens einen Schichtabschnitts (14) über die Umdrehungsgeschwindigkeit der Walze (11) einstellbar ist.
8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Oberfläche der metallischen Ribletfolie (10) zumindest teilweise veredelt wird.
9. Ribletfolie (10), deren wenigstens eine Fläche eine Struktur aufweist, die den Luftströmungswiderstand reduziert, wobei die Ribletfolie (10) hergestellt ist mit einem Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche.

Claims

1. Method for producing a metallic riblet film (10) by layer-by-layer construction, wherein the riblet film (10) is built up by carrying out the following steps at least once, comprising:
 - prepaying a reference mould (11) which has, on at least one face (12), a structure which corresponds to a negative mould of at least one riblet structure (13);
 - applying at least one layer section (14), consisting of a metal powder, onto the at least one face (12) of the reference mould (11) in such a way that the at least one layer section (14) forms as a metallic material;
 - releasing the at least one layer section (14)

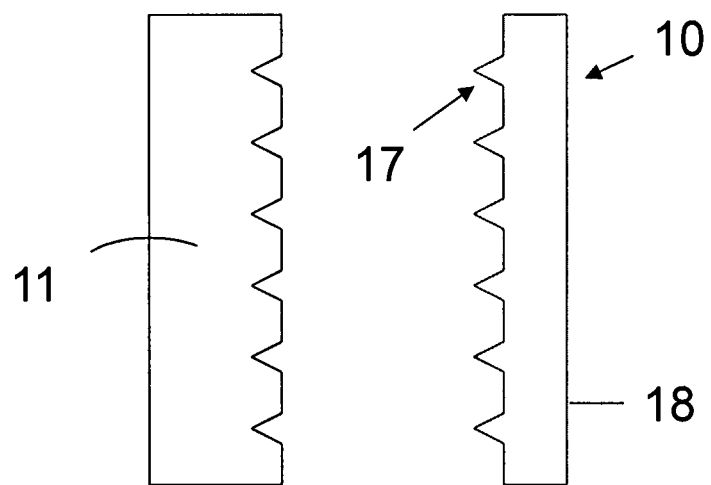
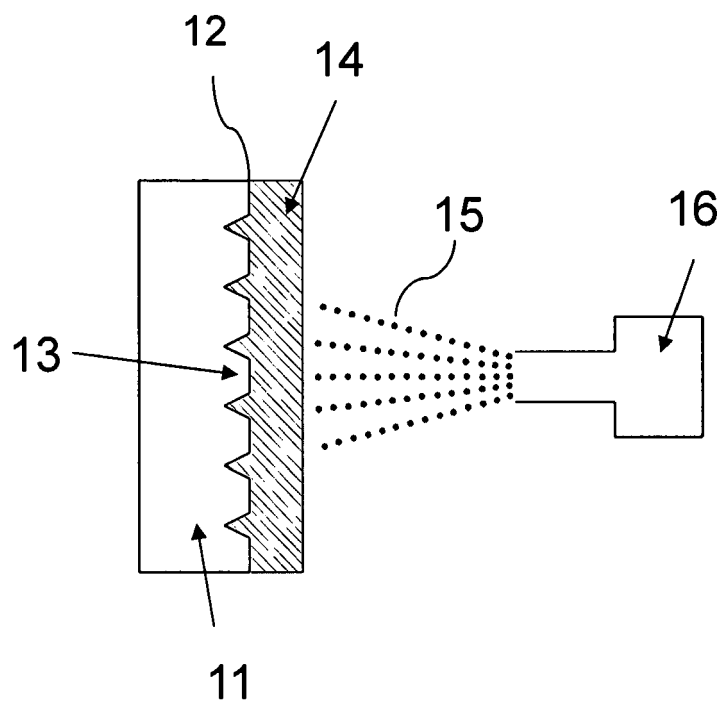
from the reference mould (11) so as to form the metallic riblet film (10) which has, on at least one face, a riblet structure (10).

2. Method according to Claim 1, **characterized in that** the application of the at least one layer section (14) takes the form of spraying a metal powder.
3. Method according to Claim 1 or 2, **characterized in that** there are applied a first layer section (14) of a metal powder comprising titanium or alloys thereof and a second layer section (14) of a metal powder comprising aluminium or alloys thereof.
4. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the at least one layer section (14) has different thicknesses.
5. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the reference mould (11) is reusable.
6. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the reference mould (11) is in the form of a roller (11).
7. Method according to Claim 6, **characterized in that** the thickness of the at least one layer section (14) can be set by means of the rotational speed of the roller (11).
8. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the surface of the metallic riblet film (10) is provided at least in part with a surface finish.
9. Riblet film (10), at least one face of which has a structure which reduces airflow resistance, wherein the riblet film (10) is produced using a method according to one of the preceding claims.

Revendications

1. Procédé de fabrication d'une feuille métallique présentant des surfaces structurées de réduction de frottement (10) par une structure stratifiée, dans lequel la feuille métallique structurée (10) est construite en exécutant au moins une fois les opérations suivantes, comprenant:
 - préparation d'un moule de référence (11), qui présente sur au moins une face (12) une structure qui correspond à une forme négative d'au moins une structure de réduction de frottement (13);
 - dépôt d'au moins une partie de couche (14) en une poudre métallique sur ladite au moins une

- face (12) du moule de référence (11), de telle manière que ladite au moins une partie de couche (14) se transforme en un matériau métallique;
- détachement de ladite au moins une partie de couche (14) du moule de référence (11), de telle façon qu'il se soit formé la feuille métallique présentant des surfaces structurées de réduction de frottement (10), qui présente une structure de réduction de frottement (10) sur au moins une face. 5 10
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le dépôt de ladite au moins une partie de couche (14) est effectué par projection d'une poudre métallique. 15
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** l'on dépose une première partie de couche (14) en une poudre métallique, qui comprend du titane ou des alliages de titane et on dépose une deuxième partie de couche (14) en une poudre métallique, qui comprend de l'aluminium ou des alliages d'aluminium. 20 25
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'épaisseur de ladite au moins une partie de couche (14) est différente. 30
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le moule de référence (11) est réutilisable.
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le moule de référence (11) est réalisé sous forme de rouleau (11). 35
7. Procédé selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** l'épaisseur de ladite au moins une partie de couche (14) est réglable par la vitesse de rotation du rouleau (11). 40
8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la surface de la feuille métallique structurée (10) est au moins partiellement traitée. 45
9. Feuille métallique présentant des surfaces structurées de réduction de frottement (10), dont au moins une face présente une structure, qui réduit la résistance à l'écoulement de l'air, dans laquelle la feuille métallique présentant des surfaces structurées de réduction de frottement (10) est fabriquée par un procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes. 50 55



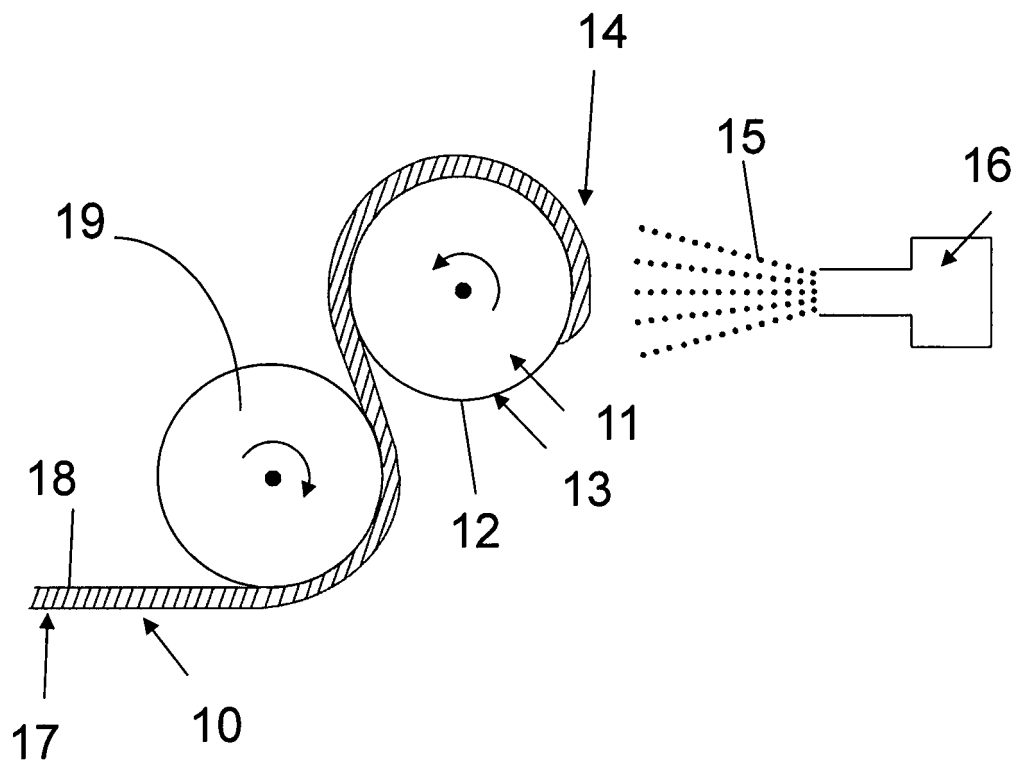


Fig. 2

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 10314373 A1 [0007]
- WO 2010017289 A1 [0011]
- WO 0109405 A1 [0012]
- US 3608615 A [0013]
- JP 63286563 A [0014]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **BECHERT, D.W. et al.** Experiments on drag-reducing surfaces and their optimization with adjustable geometry. *Journal of Fluid Mechanics*, 1997, vol. 338, 59-97 [0003]
- **SZODRUCH J. ; DZIOMBA, B.** Aircraft Drag Reduction Technologies. *Science Meeting*, 07. Januar 1991 [0004]
- **ROBERTS J.P.** Drag Reduction: An Industrial Challenge, Special Course on Skin Friction Drag Reduction. *AGARD Report*, 1992, 786 [0004]
- **HAGE, W.** Zur Widerstandsverminderung von dreidimensionalen Ribletstrukturen und anderer Oberflächen. *Dissertation*, 2004 [0005]
- **OEHLERT.** Exploratory Experiments on Machined Riblets for 2-D Compressor Blades. *Proceeding of IMECE2007, 2007 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, 11. November 2007 [0007]