

(12)

(21)

(51)

(56)

(71)

(74)

(54)

(57)



Z U S A M M E N F A S S U N G

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung (1) zur Simulation von Ablagerungen, insbesondere Eisablagerungen, auf einer Oberfläche, beispielsweise eines Flugzeugs (11) oder Flugzeugteils, welche eine konturierte Außenfläche (7) zur Simulation der Ablagerung aufweist, bzw. ein Verfahren zur Herstellung einer Vorrichtung (1) zur Simulation von Eisablagerungen auf einer Oberfläche. Die Aufgabe, die Herstellung der Vorrichtung und ein Anbringen an das Flugobjekt weiter zu vereinfachen und beschleunigen, sowie den Transport zu erleichtern, wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass die Vorrichtung (1) aus biegsamem Material hergestellt ist, bzw. dass auf Grundlage eines 3D-Modells auf einer biegsamen Grundsicht (2) eine Konturschicht (3) aufgebracht, vorzugsweise aufgedruckt wird.

Fig. 1

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Simulation von Ablagerungen, insbesondere Eisablagerungen, auf einer Oberfläche, beispielsweise eines Flugzeugs oder Flugzeugteils, welche eine konturierte Außenfläche zur Simulation der Ablagerung aufweist.

Solche Vorrichtungen werden beispielsweise zur Simulation von Eisablagerungen verwendet. Sie können aber auch jede andere Oberflächenveränderung aufgrund verschiedenster Anlagerungsprozesse auf Oberflächen simulieren, beispielsweise Schmutzablagerungen. Auch können Eisablagerungen verschiedenster Art simuliert werden, neben voll ausgebildeten, dicken Eisschichten können beispielsweise auch sogenannte „residual ice shapes“ nachgeahmt werden, sprich schwach ausgeprägte Eisablagerungen, welche nach einem Enteisungszyklus zurückbleiben.

Solche Vorrichtungen werden beispielsweise verwendet, um einerseits Vereisungen auf Oberflächen in einem Windkanal, andererseits aber auch um Vereisungszustände an Flugzeugen bei Testflügen zu simulieren. Selbstverständlich trifft dies auch auf anderen Fluggeräten wie beispielsweise Drohnen oder Helikopter zu. Der Einfachheit halber wird im Folgenden nur noch von Flugzeugen gesprochen, darunter ist in diesem Zusammenhang aber jede Art von Flugobjekt zu verstehen. Jedoch ist die Anwendung auch in anderen Bereichen, beispielsweise an Teilen von Windkraftanlagen oder Fahrzeugen, möglich.

Im Folgenden ist mit Außenfläche jene Fläche gemeint, welche keinen direkten Kontakt zur Objektoberfläche hat, sprich die neue Außenkontur des Objektes. Die Innenfläche hingegen ist jene, die im direkten Kontakt mit der Objektoberfläche steht.

In der US 9,696,238 B2 werden solche Vorrichtungen beschrieben. Dabei handelt es sich um Aufsatzteile, welche an der Innenseite passgenau für einen bestimmten Teil der Oberfläche eines zu testenden Flugzeugs geformt ist, und an der Außenseite eine die Eisschicht simulierende Kontur besitzen. Dabei muss jeder Aufsatzteil an den für ihn vorgesehene Ort an der Oberfläche, meist der Vorderseite der Flügel, montiert, und die Aufsatzteile so nacheinander aufgereiht werden. Dies ist nachteilig, da dadurch jedes Aufsatzteil nur an genau einer Position und nur bei einem bestimmten Flugobjekt verwendet werden kann. Dies erfordert ein hohes

Maß an Fertigungsgenauigkeit. Außerdem ist das genaue Anbringen sehr wichtig und deswegen auch sehr zeitaufwendig und fehleranfällig, da durch mehrere Teile die Reihenfolge der Aufsatzteile beachtet werden muss. Gleichzeitig ist der Transport schwierig, da die Aufsatzteile in der Regel sehr voluminös und kaum stapelbar sind. Auch die Herstellung der einzelnen Teile ist schwierig, da jedes Teil nur einmal hergestellt werden muss, aber sowohl die Innenseite eine passgenaue Kontur, als auch die Außenseite eine die Eisschicht simulierende Kontur aufweisen muss. Aufgrund von Fertigungstoleranzen kann die wirkliche Oberfläche von dem idealen Modell abweichen, wodurch das Aufbringen erschwert wird. Ein weiteres Problem besteht darin, dass die Herstellung der Übergangsbereiche zwischen der Außenfläche des Aufsatzteils und der Oberfläche des Grundobjektes, bei denen Kanten aufgrund der negativen aerodynamischen Eigenschaften vermieden werden sollten, sehr schwierig ist.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist nun, die beschriebenen Nachteile zu vermeiden und eine Vorrichtung, bzw. ein Verfahren zur Herstellung der Vorrichtung bereitzustellen, bei der die Herstellung der Vorrichtung und ein Anbringen an das Flugobjekt weiter vereinfacht und beschleunigt, sowie der Transport erleichtert wird.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dahingehend gelöst, dass die Vorrichtung aus biegsamem Material hergestellt ist. Sie wird auch dahingehend gelöst, dass auf Grundlage eines 3D-Modells auf einer biegsamen Grundschrift eine Konturschicht aufgebracht, vorzugsweise mittels 3D-Druck aufgedruckt wird.

Durch die Herstellung der Vorrichtung aus einem biegsamen, flexiblen Material wird einerseits das Aufbringen an die Oberfläche erleichtert, da sie sich besser an die Kontur der Oberfläche anschmiegt. Dadurch kann sie auch an Oberflächen verwendet werden, welche eine etwas andere Kontur aufweisen. Dies ist insbesondere hilfreich, wenn Flugobjekte oder Bauteile desselben Bautyps getestet werden sollen, diese aber aufgrund baulicher Größenschwankungen oder Wärmeausdehnungen leicht unterschiedliche Konturen aufweisen. Sie können aber auch auf unterschiedlichen Bautypen verwendet werden, falls sich die Kontur nicht maßgeblich unterscheidet. Dadurch wird das Anbringen an der Oberfläche auch weiter beschleunigt.

Unter biegsam ist in diesem Sinne einerseits eine Flexibilität gemeint, welche es ermöglicht, dass sich die Vorrichtung gut an eine Oberfläche mit bestimmter Kontur anpassen kann. Gleichzeitig sollte die Vorrichtung aber in den meisten Fällen rigid genug sein, dass sich die konturierte Außenfläche nicht durch die Luftströmungen im Windkanal bzw. beim Testflug über ein tolerierbares Maß verformt. Abhängig von der Dicke und Form der Kontur der Außenfläche kann das Maß der Biegsamkeit unterschiedlich gewählt werden. Es ist auch möglich, dass die Biegsamkeit an bestimmten Teilen oder bestimmten Schichten der Vorrichtung unterschiedlich gewählt wird.

Besonders vorteilhaft ist, wenn die Vorrichtung eine Folie ist. Durch die Ausführung als Folie wird insbesondere der Transport weiter vereinfacht, da die Folie aufgerollt werden kann und dadurch leicht transportabel ist. Auch das Anbringen wird vereinfacht, indem sie an einer Stelle angesetzt wird und im Laufe des Anbringens kontinuierlich abgerollt wird. Auch einstückige Ausführungen sind dadurch leichter möglich und transportabel. Alternativ kann die Folie einfach flach zusammengefaltet, bzw. mehrere Folienteile flach übereinandergestapelt werden. Gleichzeitig ist die Produktion vereinfacht, da die Folie im flachen Zustand einfacher produziert werden kann. Durch ihre Flexibilität schmiegt sie sich trotzdem an die Kontur der Oberfläche an.

Solche Ausführungsformen, die einstückig ausgeführt sind, haben den enormen Vorteil, dass ein mögliches Vertauschen der einzelnen Teile nicht vorkommen kann, und das Anbringen an der Oberfläche sehr schnell und leicht möglich ist. Dabei können an dem Flugzeug oder Flugzeugteil an verschiedenen Oberflächen Vorrichtungen unterschiedlicher Art angebracht werden. Das Vertauschen ist aber aufgrund der starken Formunterschiede kaum möglich. Gleichzeitig wird auch das Auftreten von Fugen zwischen den Teilen verhindert. Stattdessen wird eine durchgängige, konturierte Oberfläche bereitgestellt, was aerodynamisch günstig ist.

Es sind auch Ausführungen möglich, welche aus mehreren Teilen zusammengesetzt sind, die direkt aneinander reihbar sind. Die biegsame Ausführung ermöglicht bei einer derartigen Ausführungsform die Verwendung der einzelnen Teile nicht nur an der direkt dafür vorgesehenen Stelle, sondern auch an Stellen mit leicht veränderter Kontur. Des Weiteren kann es auch für die Herstellung einfacher oder notwendig sein, mehrteilige Ausführungen zu wählen.

Besonders vorteilhaft ist, wenn die Folie eine Grundschicht und zumindest eine darauf aufgetragene Konturschicht aufweist. Dadurch kann einerseits durch Wahl der Materialien eine biegsame Folie hergestellt werden, welche eine flexible, an der Oberfläche gut anbringbare Grundschicht aufweist, gleichzeitig aber eine etwas rigidere Konturschicht besitzt, welche gegenüber äußeren Kräften wie beispielsweise Luftströmungen widerstandsfähig ist. Gleichzeitig wird die Produktion vereinfacht, da sie zweigeteilt werden kann. Als Grundschicht könnte ein Thermoplast verwendet werden. Sie sollte vorzugsweise möglichst dünn sein, jedoch stabil genug, um sich stoffschlüssig gut mit der Konturschicht zu verbinden. Durch die dünne Ausführung ist der Übergang zwischen Folie und Oberfläche möglichst gleichmäßig und gering, wodurch die Luftströmung möglichst wenig gestört wird. Die Konturschicht muss dabei nicht durchgehend die Grundschicht überdecken. Bei einer Simulation von nur partiellen Oberflächenveränderungen, beispielsweise Vereisen, kann eine Grundschicht teilweise frei von der Konturschicht sein, wodurch eine Stelle ohne Veränderung simuliert wird. Durch die dünne Ausführung ist die Dicke der Grundschicht an diesen Stellen vernachlässigbar.

Wenn die Konturschicht aus zumindest zwei Materialien gebildet wird, so ist dies besonders vorteilhaft. Dies kann einerseits zur Erhöhung der mechanischen Belastbarkeit beitragen. Beispielsweise kann die Konturschicht an einer besonders hohen oder aerodynamisch besonders exponierten Stelle ein Material erhöhter Rigidität eingesetzt werden. Wird die Konturschicht in mehreren Teilschichten aufgetragen kann es auch sinnvoll sein, die einzelnen Teilschichten mit unterschiedlichen Materialien aufzutragen. Andererseits kann dadurch eine Gewichtserhöhung der Folie bewirkt werden. Dies ist besonders vorteilhaft, wenn die sonstigen verwendeten Materialien eine geringere oder höhere Dichte aufweisen als das Eis, das sich auf der Oberfläche in Vereisungszuständen bildet. Um diesen Unterschied auszugleichen, kann beispielsweise ein flexibles, zu leichtes - oder zu schweres - Hauptmaterial für die Konturschicht verwendet werden, und gleichzeitig ein schwereres - oder leichteres - Nebenmaterial beigemischt werden, welches die Gewichts Differenz ausgleicht.

Um die Herstellung weiter zu vereinfachen kann es vorteilhaft sein, wenn die Konturschicht auf die Grundschicht aufgedruckt ist, vorzugsweise mittels additiven Fertigungsverfahren. Beispielsweise können dafür 3D-Druckverfahren wie mit 3D-Druckern oder 3D-Hybriddruckern verwendet werden. Noch weiter vereinfacht kann

die Produktion durch die Verwendung einer flexiblen Grundschrift werden. Diese dient als Trägermaterial und muss sich mit dem 3D-Druckmaterial stoffschlüssig verbinden können. Es kann dabei jede beliebige Kontur aufgedruckt werden, sowie auch Stellen der Grundschrift frei gelassen werden.

Zusätzlich zur Materialwahl kann bei der Verwendung von additiven Fertigungsverfahren wie beispielsweise 3D-Druck, der Füllgrad der Konturschicht beeinflusst werden. Dies kann in Kombination mit der Materialwahl dazu genutzt werden um gezielt physikalische Eigenschaften wie beispielsweise das Gewicht oder die Flexibilität oder aber auch die Schwerpunktlage zu simulieren.

Es kann beispielsweise die Grundschrift von einer Rolle abgerollt werden, durch einen 3D-Drucker die Konturschicht aufgedruckt werden, und nach dem Druck wieder aufgerollt werden. So kann die Folie kontinuierlich Stück für Stück bedruckt werden und eine sehr lange Folie entstehen.

Alternativ dazu kann auch vorgesehen sein, dass die Kontur aus einem biegsamen Grundkörper mittels spanabhebenden Fertigungsverfahren hergestellt ist. So kann beispielweise die Konturschicht aus einem Grundkörper herausgefräst werden.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform ist die Konturschicht oder die gesamte Vorrichtung mittels eines Gießverfahrens oder Einspritzverfahrens hergestellt. Bei Ausführungsformen, welche eine Grundschrift und eine Konturschicht aufweisen, kann die Konturschicht mittels Gießen oder Einspritzen hergestellt sein. Bei solchen, die keine Grundschrift aufweisen, kann die gesamte Vorrichtung durch eine derartige Herstellung erstellt werden. Dabei werden stets Negativformen verwendet, welche die genaue Form und Kontur der Vorrichtung, bzw. Konturschicht bestimmen. Es kann auch die Negativform der zu erzeugenden Kontur aus einem starren Material hergestellt werden und anschließend mit einem flexiblen Material ausgegossen werden.

Besonders vorteilhaft ist, wenn die konturierte Außenfläche auf Basis eines 3D-Modells geformt ist. Dieses 3D-Modell kann entweder künstlich modellierten sein, oder auf Basis einer 3D-gescannten, beispielsweise real vereisten Oberfläche in einem Vereisungswindkanal erstellt werden.

Wird das zur Herstellung verwendete 3D-Modell auf Basis eines 3D-Scans einer Oberfläche mit Ablagerungen erstellt wird, so kann eine möglichst naturgetreue Nachbildung der Ablagerung, beispielsweise einer Vereisung erstellt werden.

Alternativ kann es vorteilhaft sein, wenn das zur Herstellung verwendete 3D-Modell auf Basis eines computergestützten Simulationsmodells erstellt wird. Beispielsweise kann eine Simulation der Vereisung am Computer durchgeführt werden, welche dann im Windkanal oder bei Flugtests genauer untersucht werden soll.

Um die mechanische Belastbarkeit der Konturschicht zu erhöhen, kann an der Außenfläche eine flexible Deckschicht angeordnet sein, bzw. kann an der Außenfläche der Vorrichtung eine Deckschicht aufgetragen werden. Diese schützt die Konturschicht vor Abrasion und ist vorzugsweise ebenso aus flexiblen Material. Diese kann eine bestimmte Rauheit aufweisen, um so die Eigenschaften der Eisschicht möglichst naturgetreu nachzubilden. Sollten besonders glatte Oberflächen benötigt werden, kann diese Deckschicht auch zur Verringerung der Rauheit eingesetzt werden.

Damit das Aufbringen der Vorrichtung an die Oberfläche möglichst leicht ist, kann an ihrer Innenseite eine Klebeschicht angebracht werden. Dabei kann die Klebeschicht direkt vor Anbringen an die Oberfläche aufgetragen werden, oder schon in einem früheren Schritt. Vorzugsweise ist die Klebeschicht so ausgebildet, dass die Vorrichtung nach der Verwendung wieder schnell und möglichst rückstandslos entfernt werden kann. Die Klebeschicht soll sich auch möglichst gut von der Oberfläche des Grundobjektes wieder entfernen lassen aber trotzdem den auftretenden Scherspannungen standhalten können.

Wenn an den Rändern zumindest teilweise ein Übergangsbereich angeordnet ist, welcher vorzugsweise zu den Rändern hin eine sich vermindernde Dicke aufweist, können die dort aufgrund der Kante möglicherweise auftretenden negativen aerodynamischen Effekte verringert bzw. vermieden werden. Dabei kann beispielsweise der Übergangsbereich nur durch die Grundschicht und gegebenenfalls die Deckschicht gebildet werden, welche falls notwendig gepresst werden, um eine weitere Dickenminderung zu erreichen. Ähnliches kann erreicht werden, wenn diese Bereiche thermisch behandelt werden. Durch solche Behandlungen kann eine nahezu gegen Null laufende Dicke am Rand der Vorrichtung erreicht werden.

Besonders vorteilhaft ist, wenn die Grundschrift während des Druckvorgangs kontinuierlich von Rollen auf- bzw. abgerollt wird und dabei die Konturschrift aufgetragen wird. Dies ermöglicht eine besonders einfache Herstellung, da die Konturschrift abschnittsweise und Schichtweise aufgebracht werden kann, und nach Fertigstellung eines Abschnittes die Folie einfach weiterbewegt werden kann. Es kann auch vorteilhaft sein, zuerst eine Teilschicht der Konturschrift auf der gesamten Folie aufzutragen, um danach in einem weiteren Abroll- bzw. Aufrollvorgang die nächste Schicht aufzutragen und dies zu wiederholen, bis alle Schichten aufgetragen sind. Dadurch können besonders lange Vorrichtungen, wie sie beispielsweise bei Flügelvorderkanten im Zuge realer Flugtests benötigt werden, hergestellt werden. Dadurch können etwaige aerodynamisch nachteilige Stöße vermieden werden, die durch das Aneinanderreihen mehrerer einzelner Vorrichtungen entstehen würden.

Es kann auch vorteilhaft sein, die Vorrichtung während des Druckvorgangs schrittweise oder kontinuierlich durch die Vorrichtung geschoben wird und dabei die Konturschrift aufgetragen wird. Dies ist insbesondere sinnvoll, wenn ein aufrollen nicht gewünscht ist, aber trotzdem Vorrichtungen großer Länge produziert werden sollen. Dadurch kann ein Drucker verhältnismäßig kleiner Ausführungsform für eine sehr lange Folie verwendet werden.

Wenn während des Aufbringens die Grundschrift zumindest teilweise festgehalten oder gespannt wird, und auf den festgehaltenen, bzw. gespannten Bereich die Konturschrift aufgetragen wird, so kann damit auf leichte Weise das Auftragen erfolgen. Insbesondere das Bedrucken durch einen 3D-Drucker ist somit leicht möglich. Das Spannen kann durch eine geeignete Spannvorrichtung oder beispielsweise ein Vakuumsystem vorgenommen werden.

Um eine möglichst genaue Position an der Oberfläche zu finden ist es vorteilhaft, wenn Markierungen direkt, vorzugsweise auch aus einem biegsamen Material, mitgedruckt werden. Dadurch kann beim Aufbringen sofort erkannt werden, an welche Stelle und in welcher Ausrichtung die Vorrichtung angebracht werden soll. Dabei können die Markierungen auch geeignet sein, bei aus mehreren Teilen zusammengesetzten Ausführungsformen die Reihenfolge der Teile zu definieren.

Die geometrische Form der Vorrichtung kann auf verschiedene Weisen digital erstellt werden. Beispielsweise können 3D-Scansysteme zum Einsatz kommen.

Gegebenenfalls kann es notwendig sein, das zu vermessende Teil zu beschichten, bevor sie gescannt wird. Dabei kann beispielsweise ein Scanaufbau aus mehreren Einzelscansystemen verwendet werden um einen möglichst großen Bereich mit ausreichender Genauigkeit abzudecken. Im Grunde kann eine beliebige 3D-Scantechnologie zum Einsatz kommen, wie beispielsweise Stereoskopie, Laserscanner oder auf strukturiertem Licht basierende Verfahren. Wird der Scanvorgang in einer kalten Umgebung wie beispielsweise einem gekühlten Windkanal oder Vereisungswindkanal durchgeführt, kann es vorteilhaft sein, insbesondere die elektronischen Komponenten zu beheizen um thermische Ausdehnungen zu verhindern. Dadurch kann eine möglichst hohe Genauigkeit erreicht werden.

Da die Geometrieänderung eines Objektes abgebildet werden soll, ist für die Herstellung der Vorrichtung die Differenz der finalen Geometrie zur ursprünglichen Geometrie zu bilden. Hierzu kann beispielsweise zuerst die Oberfläche vor einem Beaufschlagen von Ablagerungen und nach dem Beaufschlagen der Ablagerungen 3D-gescannt werden, diese Scans gegebenenfalls bearbeitet und voneinander subtrahiert, und so ein 3D-Modell erhalten werden. Dadurch wird die beispielsweise die exakte Eisstruktur nach einem Vereisungsvorgang an der Oberfläche vermessen, und es kann eine Folie hergestellt werden, welche möglichst naturgetreu die vereiste Geometrie simuliert. Während dieses Prozesses können Ausrichtungsalgorithmen verwendet werden, um die Datensätze zueinander zu positionieren. Alternativ können auch bereits vorhandene digitale Daten der ursprünglichen Oberfläche verwendet werden, wie beispielsweise CAD-Daten. Es kann aber vorkommen, dass aufgrund von Fertigungstoleranzen die reale Geometrie von der idealen, digitalen Geometrie abweicht. Speziell hier bietet sich die Verwendung von 3D-Scantechnologien an.

Weiters vorteilhaft ist, wenn das 3D-Modell flach abgewickelt wird und so die 3D-Geometrie der Kontur auf eine flache Schicht übertragen werden kann.

Die gewünschte Rauheit der Oberfläche kann durch das Aufbringen der Konturschicht, bzw. durch entsprechende Gestaltung der Konturschicht erreicht werden. Beispielsweise kann dies durch Variation der Druckparameter geschehen. Alternativ kann es vorteilhaft sein, wenn auf die Konturschicht oder gegebenenfalls Deckschicht eine adhäsive Schicht, wie beispielsweise ein Harz, aufgetragen wird,

und danach mit Partikel einer bestimmten Größe, bzw. bestimmten Größenverteilung bestreut wird. Dadurch kann eine bestimmte Oberflächenrauheit leicht eingestellt werden. Dabei muss diese adhäsive Schicht nicht auf der gesamten Konturschicht, bzw. Deckschicht aufgetragen werden. Es können auch an verschiedenen Stellen Partikel verschiedener Korngröße aufgestreut werden. Die zur Simulation einer bestimmten Rauigkeit benötigte Korngröße kann beispielsweise durch geeignete Algorithmen bestimmt werden oder aus Erfahrungen bzw. Zulassungsvorschriften entnommen werden.

Weiters vorteilhaft ist, wenn ein Korrekturalgorithmus die durch das Anlegen der Vorrichtung an der Oberfläche entstehenden Verzerrungen der Kontur ausgleicht. Dadurch können Veränderungen der die Eiskontur simulierende Konturschicht beim Anlegen an nicht flachen Oberflächen vermindert oder ganz verhindert werden. Derartige Algorithmen berechnen die resultierende Verzerrung auf Basis der Form der Oberfläche, auf die die Folie aufgelegt wird, und gleicht sie durch Vermehrung, Verminderung, Formänderung, oder ähnlichem der Teilschichten der Konturschicht aus.

Verfahren zum Testen von Flugzeugen oder Flugzeugteilen, wobei eine Vorrichtung zur Simulation von Eisablagerungen auf einer Oberfläche des Flugzeuges oder Flugzeugteils angebracht wird, der Test durchgeführt wird und danach die Vorrichtung wieder entfernt wird, sind bereits bekannt. Jedoch werden solche Verfahren erheblich erleichtert und beschleunigt, wenn eine Vorrichtung aus biegsamen Material verwendet wird. Weiters wird die Testqualität durch die Verwendung realer Vereisungsdaten, welche beispielsweise durch 3D-Scansysteme festgehalten werden, signifikant erhöht.

In der Folge wird die vorliegende Erfindung anhand einer in den Figuren dargestellten Ausführungsvariante näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung, angebracht an den Flügel eines Flugzeuges in einer schematischen Schrägansicht;

Figur 2 die Ausführungsform in einem schematischen Schnitt.

In Fig. 1 ist eine einstückige Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 dargestellt, welche an dem Flügel 11 eines Flugzeugs 10 angebracht ist. Sie erstreckt sich über die gesamte Länge des Flügels 11, und bedeckt damit die gesamte Vorderseite des Flügels 11. Eine Vorrichtung 1 ähnlicher Ausführungsform könnte ebenso auf dem anderen, nicht abgebildeten Flügel des Flugzeugs 10 oder auf den ebenso nicht abgebildeten Vorderseiten des Höhenleitwerks oder des Seitenleitwerks, sowie auf dem Rumpf oder jeden anderen beliebigen Ort des Flugzeugs 2 aufgebracht sein.

Fig. 2 zeigt die Ausführungsform im Detail in einem Schnitt, wobei nun sichtbar ist, dass die Vorrichtung 1 auch im Schnitt die gesamte Vorderseite des Flügels 11 abdeckt. Eine Grundsicht 2 ist auf die Oberfläche 12 des Flügels aufgeklebt. Auf dieser Grundsicht 2 ist eine Konturschicht 3 aufgedruckt, welche Eisablagerungen simuliert. Daher ist sie unregelmäßig, weist höhere und flachere Spitzen auf und ist streckenweise unterbrochen. Auf der Konturschicht 3 ist eine Deckschicht 4 aufgebracht, welche die mechanische Belastbarkeit der Konturschicht 3 erhöht. Die Kontur der Außenfläche 7 wird wesentlich durch die Konturschicht 3, aber teilweise auch von der Deckschicht 4 determiniert. An der unterbrochenen Stelle ist auch die Deckschicht 4 unterbrochen, jedoch kann vorgesehen sein, dass sie an dieser Stelle flächendeckend auf der Grundsicht 2 aufgetragen wird. An den Rändern der Vorrichtung 1 sind Übergangsbereiche 5 angeordnet, welche einen möglichst kantenlosen Übergang zur Oberfläche des Flügels 11 ermöglicht. Die Konturschicht 3 endet bei Beginn der Übergangsbereiche 5 und auch die Deckschicht 4 läuft kurz danach aus. Damit werden die Übergangsbereiche 5 im Wesentlichen durch die Grundsicht 2 gebildet. Im letzten Bereich der Übergangsbereiche 5 sind Auslaufbereiche 6 vorgesehen, bei denen die Grundsicht 2 unter Temperatureinfluss gepresst wurde, sodass ihre Dicke kontinuierlich abnimmt. Damit wird ein besonders kantenfreier Übergang ermöglicht. Die dargestellte Ausführungsform bedeckt nur die Vorderseite des Flügels 11. Andere Ausführungsformen können aber auch ausgebildet sein, größere Flächen des Flügels oder sogar den gesamten Flügel abzudecken.

P A T E N T A N S P R Ü C H E

1. Eine Vorrichtung (1) zur Simulation von Ablagerungen, insbesondere Eisablagerungen, auf einer Oberfläche, beispielsweise eines Flugzeugs (11) oder Flugzeugteils, welche eine konturierte Außenfläche (7) zur Simulation der Ablagerung aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung (1) aus biegsamem Material hergestellt ist.
2. Eine Vorrichtung (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung (1) eine Folie ist.
3. Eine Vorrichtung (1) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass sie aus mehreren Teilen zusammengesetzt ist, welche direkt aneinander reihbar sind.
4. Eine Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass sie einstückig ausgeführt ist.
5. Eine Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Folie eine Grundschicht (2) und zumindest eine darauf aufgebrachte Konturschicht (3) aufweist.
6. Eine Vorrichtung (1) nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Konturschicht (3) aus zumindest zwei Materialien gebildet wird.
7. Eine Vorrichtung (1) nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Konturschicht (3) auf die Grundschicht (2) aufgedruckt ist, vorzugsweise mittels additiven Fertigungsverfahren.
8. Eine Vorrichtung (1) nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Kontur aus einem biegsamen Grundkörper mittels spanabhebenden Fertigungsverfahren hergestellt ist.
9. Eine Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Konturschicht (3) oder die gesamte Vorrichtung (1) mittels eines Gießverfahrens oder Einspritzverfahrens hergestellt ist.

10. Eine Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die konturierte Außenfläche (7) auf Basis eines 3D-Modells geformt ist.
11. Eine Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass an der Außenfläche (7) eine flexible Deckschicht (4) angeordnet ist.
12. Eine Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass an ihrer Innenseite eine Klebeschicht angeordnet ist.
13. Eine Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass an den Rändern zumindest teilweise ein Übergangsbereich (5) angeordnet ist, welcher vorzugsweise zu den Rändern hin eine sich verminderende Dicke aufweist.
14. Verfahren zur Herstellung einer Vorrichtung (1) zur Simulation von Ablagerungen auf einer Oberfläche, dadurch gekennzeichnet, dass auf Grundlage eines 3D-Modells auf einer biegsamen Grundschicht (2) eine Konturschicht (3) aufgebracht, vorzugsweise mittels 3D-Druck aufgedruckt wird.
15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung (1) während des Druckvorgangs kontinuierlich von Rollen auf- bzw. abgerollt wird und dabei die Konturschicht (3) aufgetragen wird.
16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung (1) während des Druckvorgangs schrittweise oder kontinuierlich durch die Vorrichtung geschoben wird und dabei die Konturschicht (3) aufgetragen wird.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass das zur Herstellung verwendete 3D-Modell auf Basis eines 3D-Scans einer Oberfläche mit Ablagerungen erstellt wird.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass das zur Herstellung verwendete 3D-Modell auf Basis eines computergestützten Simulationsmodells erstellt wird.
19. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass zuerst die Oberfläche vor einem Beaufschlagen von Ablagerungen und nach dem Beaufschlagen der Ablagerungen 3D-gescannt wird, diese Scans gegebenenfalls bearbeitet und voneinander subtrahiert werden, und so ein 3D-Modell erhalten wird.
20. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass das 3D-Modell flach abgewickelt wird.
21. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass an der Außenfläche (7) der Vorrichtung (1) eine Deckschicht (4) aufgetragen wird.
22. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass auf die Konturschicht (3) oder gegebenenfalls Deckschicht (4) eine adhäsive Schicht, wie beispielsweise ein Harz, aufgetragen wird, und danach mit Partikel einer bestimmten Größe, bzw. bestimmten Größenverteilung bestreut wird.
23. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass ein Korrekturalgorithmus die durch das Anlegen der Vorrichtung (1) an der Oberfläche entstehenden Verzerrungen der Kontur ausgleicht.
24. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass während die Grundsicht (2) zumindest teilweise festgehalten oder gespannt wird und auf den festgehaltenen, bzw. gespannten Bereich die Konturschicht (3) aufgetragen wird.
25. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass Markierungen direkt mitgedruckt werden.
26. Verfahren zum Testen von Flugzeugen oder Flugzeugteilen, wobei eine Vorrichtung (1) zur Simulation von Eisablagerungen auf einer Oberfläche des

Flugzeuges oder Flugzeugteils angebracht wird, der Test durchgeführt wird und danach die Vorrichtung (1) wieder entfernt wird, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 13 ausgebildet ist.

21.09.2017

MT

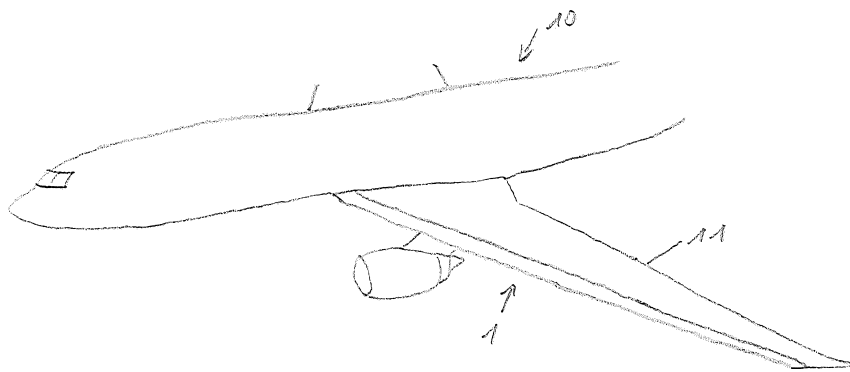


Fig. 1

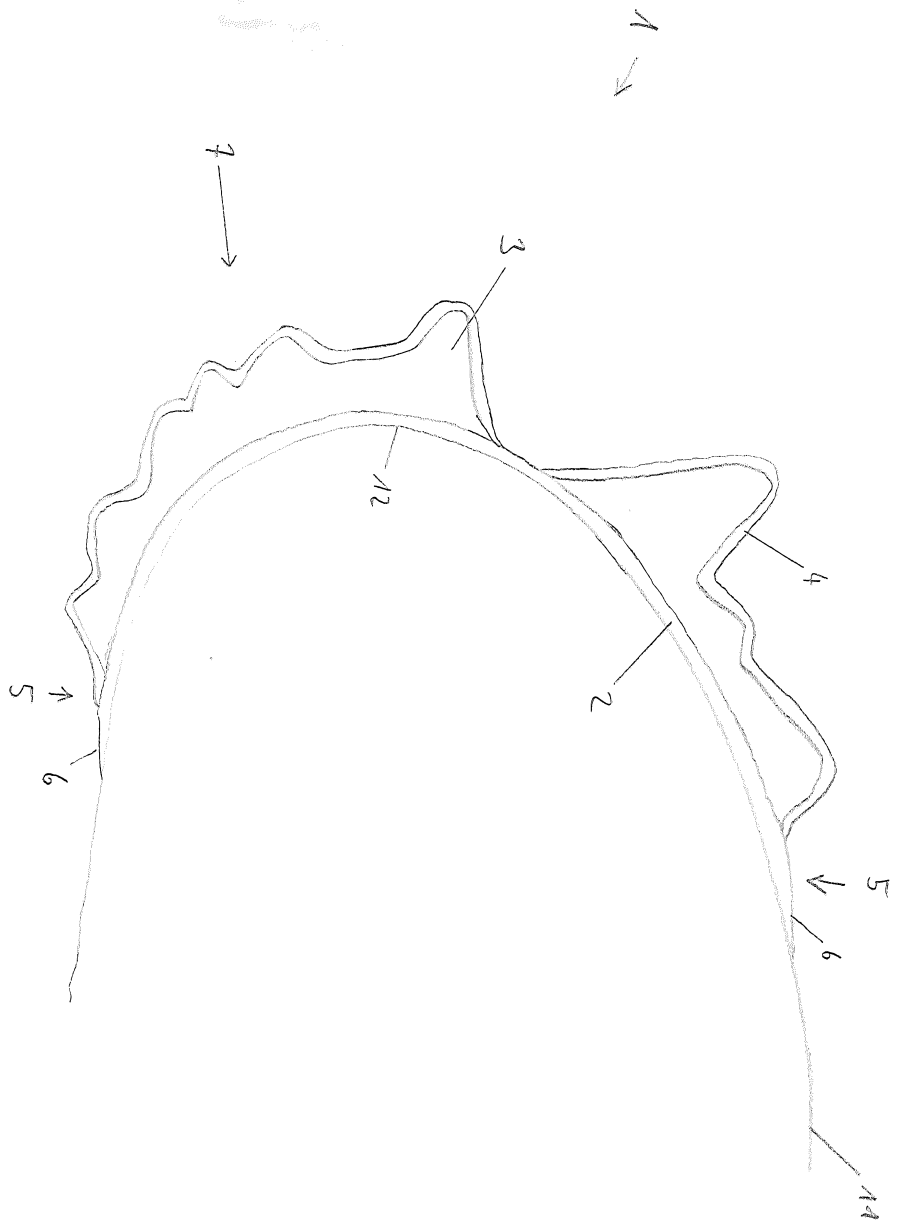


Fig. 2

P A T E N T A N S P R Ü C H E

1. Eine Vorrichtung (1) zur Simulation von Ablagerungen, insbesondere Eisablagerungen, auf einer Oberfläche, beispielsweise eines Flugzeugs (11) oder Flugzeugteils, welche eine konturierte Außenfläche (7) zur Simulation der Ablagerung aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung (1) aus biegsamem Material hergestellt ist.
2. Eine Vorrichtung (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung (1) eine Folie ist.
3. Eine Vorrichtung (1) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass sie aus mehreren Teilen zusammengesetzt ist, welche direkt aneinander reihbar sind.
4. Eine Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass sie einstückig ausgeführt ist.
5. Eine Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Folie eine Grundschrift (2) und zumindest eine darauf aufgebrachte Konturschicht (3) aufweist.
6. Eine Vorrichtung (1) nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Konturschicht (3) aus zumindest zwei Materialien gebildet wird.
7. Eine Vorrichtung (1) nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Konturschicht (3) auf die Grundschrift (2) aufgedruckt ist, vorzugsweise mittels additiven Fertigungsverfahren.
8. Eine Vorrichtung (1) nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Kontur aus einem biegsamen Grundkörper mittels spanabhebenden Fertigungsverfahren hergestellt ist.
9. Eine Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Konturschicht (3) oder die gesamte Vorrichtung (1) mittels eines Gießverfahrens oder Einspritzverfahrens hergestellt ist.

10. Eine Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die konturierte Außenfläche (7) auf Basis eines 3D-Modells geformt ist.
11. Eine Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass an der Außenfläche (7) eine flexible Deckschicht (4) angeordnet ist.
12. Eine Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass an ihrer Innenseite eine Klebeschicht angeordnet ist.
13. Eine Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass an den Rändern zumindest teilweise ein Übergangsbereich (5) angeordnet ist, welcher vorzugsweise zu den Rändern hin eine sich verminderende Dicke aufweist.
14. Verfahren zur Herstellung einer Vorrichtung (1) zur Simulation von Ablagerungen auf einer Oberfläche nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass auf Grundlage eines 3D-Modells auf einer biegsamen Grundschrift (2) eine Konturschicht (3) aufgebracht, vorzugsweise mittels 3D-Druck aufgedruckt wird.
15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung (1) während des Druckvorgangs kontinuierlich von Rollen auf- bzw. abgerollt wird und dabei die Konturschicht (3) aufgetragen wird.
16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung (1) während des Druckvorgangs schrittweise oder kontinuierlich durch die Vorrichtung geschoben wird und dabei die Konturschicht (3) aufgetragen wird.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass das zur Herstellung verwendete 3D-Modell auf Basis eines 3D-Scans einer Oberfläche mit Ablagerungen erstellt wird.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass das zur Herstellung verwendete 3D-Modell auf Basis eines computergestützten Simulationsmodells erstellt wird.
19. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass zuerst die Oberfläche vor einem Beaufschlagen von Ablagerungen und nach dem Beaufschlagen der Ablagerungen 3D-gescannt wird, diese Scans gegebenenfalls bearbeitet und voneinander subtrahiert werden, und so ein 3D-Modell erhalten wird.
20. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass das 3D-Modell flach abgewickelt wird.
21. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass an der Außenfläche (7) der Vorrichtung (1) eine Deckschicht (4) aufgetragen wird.
22. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass auf die Konturschicht (3) oder gegebenenfalls Deckschicht (4) eine adhäsive Schicht, wie beispielsweise ein Harz, aufgetragen wird, und danach mit Partikel einer bestimmten Größe, bzw. bestimmten Größenverteilung bestreut wird.
23. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass ein Korrekturalgorithmus die durch das Anlegen der Vorrichtung (1) an der Oberfläche entstehenden Verzerrungen der Kontur ausgleicht.
24. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass während die Grundsicht (2) zumindest teilweise festgehalten oder gespannt wird auf dem festgehaltenen, bzw. gespannten Bereich die Konturschicht (3) aufgetragen wird.
25. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass Markierungen direkt mitgedruckt werden.
26. Verfahren zum Testen von Flugzeugen oder Flugzeugteilen, mit einer Vorrichtung (1) zur Simulation von Eisablagerungen auf einer Oberfläche nach

einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung (1) auf einer Oberfläche des Flugzeuges oder Flugzeugteils angebracht wird, der Test durchgeführt wird und danach die Vorrichtung (1) wieder entfernt wird.

21.08.2018

MT