



(11)

EP 2 743 455 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
18.06.2014 Patentblatt 2014/25

(51) Int Cl.:
F01D 5/28 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **13194984.4**

(22) Anmeldetag: **29.11.2013**

(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**
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

(30) Priorität: **14.12.2012 DE 102012223220**

(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft
80333 München (DE)**

(72) Erfinder:
• **Johannes, Martin, Dr.
91052 Erlangen (DE)**
• **Scheunert, Norbert
01187 Dresden (DE)**
• **Seidel, Christian, Dr.
90571 Schwaig (DE)**
• **Weckend, Nico
01099 Dresden (DE)**
• **Zeininger, Heinrich, Dr.
90587 Obermichelbach (DE)**

(54) **Turbinenschaufel, insbesondere Endstufenlaufschaufel für eine Dampfturbine, mit einem Erosionsschutzbauteil**

(57) Die Erfindung betrifft eine Turbinenschaufel (1), insbesondere eine Endstufenschaufel für eine Dampfturbine, wobei die Turbinenschaufel (1) zumindest bereichsweise aus Faserverbundwerkstoff besteht und die Turbinenschaufel (1) zumindest ein Erosionsschutzbauteil (2) umfasst. Das Erosionsschutzbauteil (2) ist mittels einer formschlüssigen und einer stoffschlüssigen Verbindung an der Turbinenschaufel (1) befestigt. Dies ermöglicht einen sehr sicheren Halt des Erosionsschutzbauteils (2) an der Turbinenschaufel (1) auch bei hohen Umfangsgeschwindigkeiten der Turbinenschaufel (1). Des Weiteren betrifft die Erfindung Verfahren zum Herstellen solchen Turbinenschaufeln (1).

FIG 1A



EP 2 743 455 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Turbinenschaufel nach dem Oberbegriff des unabhängigen Patentanspruchs 1.

[0002] Des Weiteren betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Herstellen einer Turbinenschaufel nach dem Oberbegriff der unabhängigen Patentansprüche 5 und 6.

[0003] Turbinenschaufeln und insbesondere Turbinenschaufeln von Dampfturbinen werden derzeit vorwiegend aus Stahl gefertigt. Aufgrund des hohen Gewichtes der Stahlturbinenschaufel und den daraus resultierenden hohen Fliehkräften ist die Drehzahl, sowie die maximale Schauffellänge insbesondere der Endstufenlauf-schaufeln begrenzt. Hierdurch ist auch die Abströmfläche im Abdampfgehäuse und damit letztendlich die Leistung sowie der Wirkungsgrad der Turbine limitiert. Um die Leistung und den Wirkungsgrad zukünftiger Turbinen zu steigern, wird zunehmend über den Einsatz von Endstufenlauf-schaufeln aus Faserverbundwerkstoff nachgedacht. Faserverbundwerkstoffe haben den Vorteil einer hohen Festigkeit bei gleichzeitig sehr geringem Gewicht.

[0004] Das Herstellen von Turbinenschaufeln aus Faserverbundwerkstoff erfolgt durch Verbinden mindestens zweier Lagen von Fasermatten gleicher oder verschiedener Materialien. Als Fasermaterial eignen sich dabei insbesondere Glas oder Kohlenstoff. Da Faserverbundwerkstoffe nur in Faserrichtung eine hohe Festigkeit aufweisen, ist eine jeweils individuelle, beanspruchungsgerechte Ausrichtung der Faserlagen notwendig. Meist werden mehrere Fasermatten mit unterschiedlicher Hauptfaserrichtung übereinandergelegt, um eine Festigkeit in mehrere Richtungen zu erzielen.

[0005] Die einzelnen Fasermatten werden mittels einer Matrix, üblicherweise ein Kunstharz, miteinander verbunden. Der Matrixanteil muss dabei so hoch sein, dass die Fasermatten untereinander fest verbunden sind. Ein zu großer Matrixanteil führt jedoch zu einer Abnahme der Festigkeit des Faserverbundwerkstoffes und zu einer Gewichtszunahme.

[0006] Für die Herstellung von Turbinenschaufeln aus Faserverbundwerkstoff eignen sich unterschiedliche Verfahren, wobei man grundsätzlich zwischen offenen und geschlossenen Verfahren unterscheidet. Bei beiden Verfahren werden Faserhalbzeuge, hierunter versteht man unter anderem Gewebe, Gelege oder anderweitige Fasermatten oder vorgefertigte textile Halbzeuge (pre-forms), in ein Infiltrierwerkzeug gelegt und mit dem Matrixmaterial infiltriert. Beim Infiltrieren wird das Matrixmaterial in das Faserhalbzeug eingebracht und ein Verbund zwischen dem Matrixmaterial und dem Faserhalbzeug erzielt. Das überschüssige Matrixmaterial muss beim Infiltrieren entfernt werden und die Turbinenschaufel muss anschließend aushärten, bevor sie aus dem Infiltrierwerkzeug genommen werden kann.

[0007] Das derzeit geläufigste offene Verfahren zum Herstellen von Faserverbundschaufeln ist das Handlegungsverfahren. Hierbei werden die Faserhalbzeuge von

Hand in das Infiltrierwerkzeug eingelegt und mit der Matrix getränkt. Anschließend wird das Laminat mit Hilfe einer Rolle durch Anpressen entlüftet. Dadurch soll nicht nur die im Laminataufbau vorhandene Luft, sondern auch überschüssiges Matrixmaterial aus den Fasermattenschichten entfernt werden. Das Vorgehen wird so oft wiederholt, bis die gewünschte Schichtdicke vorhanden ist. Nach dem Aufbringen aller Schichten muss das Bauteil aushärten. Das Aushärten erfolgt aufgrund einer chemischen Reaktion des Matrixmaterials mit einem zum Matrixmaterial zugefügten Härter. Der Vorteil des Handlegungsverfahrens besteht in dem geringen Werkzeug und Ausstattungsaufwand. Demgegenüber steht jedoch eine geringe Bauteilqualität (geringer Fasergehalt) und der hohe manuelle Aufwand, der geschulte Laminierer voraussetzt.

[0008] Das Handauflegverfahren kann auch als geschlossenes Verfahren ausgeführt werden. Das geschlossene Verfahren erfolgt mittels einer Vakuumpresse. Nach dem Einbringen der Fasermatten in das Infiltrierwerkzeug wird die Form mit einer Trennfolie, einem Absaugvlies und einer Vakuumfolie abgedeckt. Zwischen der Vakuumfolie und der Form wird ein Unterdruck erzeugt. Dies bewirkt, dass der Verbund zusammengepresst wird. Eventuell noch enthaltene Luft wird abgesaugt und das überschüssige Matrixmaterial wird vom Absaugvlies aufgenommen. So kann gegenüber dem offenen Handauflegverfahren eine höhere Bauteilqualität erzielt werden.

[0009] Ein weiteres geschlossenes Verfahren stellt das Prepreg-Verfahren dar. Hierbei werden mit Matrixwerkstoff vorimprägnierte, also bereits getränkte Fasermatten, in das Infiltrierwerkzeug gelegt. Das Harz ist dabei nicht mehr flüssig, sondern hat eine leicht klebrige feste Konsistenz. Der Verbund wird anschließend mittels Vakuumsack entlüftet und danach, häufig im Autoklaven, unter Druck und Hitze ausgehärtet. Das Prepreg-Verfahren ist aufgrund der notwendigen Betriebsausstattung (Kühlanlagen, Autoklaven) und der anspruchsvollen Prozessführung (Temperaturmanagement) eines der teuersten Herstellungsverfahren. Es ermöglicht jedoch auch eine sehr hohe Bauteilqualität und eine sehr geringe Ausschussrate. Für die hochbelasteten Turbinenschaufeln in Endstufen von Dampfturbinen ist es daher eines der am besten geeigneten Verfahren.

[0010] Ein weiteres geschlossenes Verfahren zum Herstellen von Faserverbundschaufeln stellt das Vakuuminfusionsverfahren dar. Bei diesem Verfahren werden die trockenen Faserlagen in ein mit Trennmittel beschichtetes Infiltrierwerkzeug eingelegt. Darüber werden ein Trenngewebe sowie ein Verteilermedium gelegt, dass das gleichmäßige Fließen des Matrixmaterials erleichtert. Mittels Vakuum-Abdichtband wird die Folie gegen das Infiltrierwerkzeug abgedichtet und das Bauteil anschließend mit Hilfe einer Vakuumpumpe evakuiert. Der Luftdruck presst die eingelegten Teile zusammen und fixiert sie. Das temperierte, flüssige Matrixmaterial wird durch das eingelegte Vakuum in das Fasermaterial ge-

saugt. Nachdem die Fasern vollständig getränkt sind, wird die Matrixmaterialzufuhr unterbrochen und der getränkte Faserverbundwerkstoff kann nach dem Aushärten dem Infiltrierwerkzeug entnommen werden. Vorteil dieses Verfahrens ist die gleichmäßige und fast blasenfreie Tränkung der Fasern und somit die hohe Qualität der produzierten Bauteile. Auch dieses Verfahren eignet sich somit besonders gut zur Herstellung von Turbinenschaufeln und insbesondere für Endstufenlaufschaufeln von Dampfturbinen.

[0011] Die Aushärtezeit bei den einzelnen Verfahren variiert stark und ist im Wesentlichen vom gewählten Matrixwerkstoff und der Aushärtetemperatur abhängig.

[0012] Die aus Faserverbundwerkstoffen hergestellten Turbinenschaufeln haben jedoch allesamt den Nachteil, dass sie aufgrund des verwendeten Materials sehr anfällig gegen Tropfenschlagerosionen sind. Tropfenschlagerosion tritt insbesondere an der Endstufe von Turbinenschaufeln in Dampfturbinen auf. In der Endstufe kondensiert Wasser aus der Dampfströmung zu Tropfen. Diese Tropfen treffen mit hoher Geschwindigkeit und hoher Energie auf die sich drehenden Turbinenschaufeln auf. Durch die hohe Aufschlagenenergie der Wassertropfen kommt es zu einer sehr schnellen Zerstörung des Faserverbundwerkstoffes.

[0013] Um die Turbinenschaufeln in Dampfturbinen einsetzen zu können, ist es daher erforderlich, zumindest an der Anströmkante der Turbinenschaufel ein Erosionsschutzbauteil vorzusehen. Das Erosionsschutzbauteil ist dabei derart anzuordnen, dass es den Faserverbundwerkstoff wirkungsvoll gegen Tropfenschlagerosion schützt. Hierzu ist es zumindest notwendig, ein Erosionsschutzbauteil an der Anströmkante der Turbinenschaufel, anzuordnen. Durch die Verwendung des Erosionsschutzbauteils kann die Turbinenschaufel aus Faserverbundwerkstoff hergestellt werden, ohne, dass die Erosionsschäden gegenüber Turbinenschaufeln aus Stahl zunehmen. Dabei wird das Gewicht durch die Verwendung von Faserverbundwerkstoff deutlich herabgesenkt, wodurch die Fliehkraftbeanspruchung, insbesondere im stark belasteten Fußabschnitt der Turbinenschaufel deutlich reduziert wird. Infolgedessen kann die Schaufellänge und damit die Abströmfläche im Abdampfgehäuse vergrößert und/oder die Drehzahl der Turbine erhöht werden. Dies führt zu einer Erhöhung des Wirkungsgrades der Dampfturbine.

[0014] Die Erosionsschutzbauteile werden üblicherweise durch Laminieren oder Kleben an der Turbinenschaufel angebracht. In der Vergangenheit haben sich aufgrund der hohen Drehzahlen und der hohen Fliehkraftbelastung teilweise die Erosionsschutzbauteile von der Turbinenschaufel gelöst. Dies kann zu großen Schäden an der Turbine führen und ist daher unter allen Umständen zu vermeiden.

[0015] Ausgehend vom Stand der Technik ist es daher Aufgabe der Erfindung, eine Turbinenschaufel, insbesondere eine Endstufenschaufel für eine Dampfturbine mit einem Erosionsschutzbauteil bereitzustellen, wel-

ches einen verbesserten Halt des Erosionsschutzbauteils an der Turbinenschaufel gewährleistet. Des Weiteren ist es Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zum Herstellen einer solchen Turbinenschaufel bereitzustellen.

[0016] Die Aufgabe wird hinsichtlich der Turbinenschaufel durch die Merkmale des unabhängigen Patentanspruchs 1 und hinsichtlich des Verfahrens durch die Merkmale der unabhängigen Patentansprüche 5 und 6 gelöst.

[0017] Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung, welche einzeln oder in Kombination miteinander einsetzbar sind, sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0018] Die erfindungsgemäße Turbinenschaufel, insbesondere Endstufenlaufschaufel für eine Dampfturbine, wobei die Turbinenschaufel zumindest bereichsweise aus Faserverbundwerkstoff besteht und die Turbinenschaufel zumindest ein Erosionsschutzbauteil umfasst, zeichnet sich dadurch aus, dass das Erosionsschutzbauteil mittels einer formschlüssigen und einer stoffschlüssigen Verbindung an der Turbinenschaufel befestigt ist. Die form- und gleichzeitig stoffschlüssige Verbindung ermöglicht eine besonders sichere Befestigung des Erosionsschutzbauteils an der Turbinenschaufel. Falls das Laminieren oder Kleben des Erosionsschutzbauteils fehlerhaft ausgeführt wurde bzw. sich trotz korrektem Laminieren/Kleben das Erosionsschutzbauteil durch die hohen Fliehkräfte lösen sollte, wird es zusätzlich durch die formschlüssige Verbindung sicher gehalten. Die formschlüssige Verbindung sorgt des Weiteren dafür, dass die Klebung bzw. die Laminierung nicht so stark beansprucht wird, da die Kraftbelastungen bereits durch den Formschluss aufgenommen und damit von der Klebung bzw. Laminierung fortgehalten werden. Die gleichzeitige Verbindung des Erosionsschutzbauteils mittels stoff- und formschlüssiger Verbindung erhöht somit die Betriebssicherheit der Turbinenschaufel. Ein Lösen des Erosionsschutzbauteils im Betrieb kann damit weitgehend ausgeschlossen und größere Schäden an der Turbine vermieden werden.

[0019] Eine Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass die formschlüssige Verbindung mittels eines Formschlusselementes, insbesondere mittels Pins, Nadeln oder Stifte, welche in den Faserverbundwerkstoff eingreifen, erzielt wird. Durch die Pins, Nadeln oder Stifte kann das Formschlusselement zum einen tief in den Faserverbundwerkstoff eingreifen und aufgrund der dünnen Ausbildung des Formschlusselementes kommt es nicht zu einem Zerstören des Faserverbundes bzw. einzelner Fasern. Das Formschlusselement verzahnt sich vielmehr mit der Struktur des Faserverbundwerkstoffes. Hierdurch wird ein sehr guter Formschluss erzielt. Die Formschlusselemente sind dabei so ausgerichtet, dass sie einen sicheren Formschluss des Erosionsschutzbauteiles gegenüber den Fliehkräften während des Betriebs der Turbinenschaufel gewährleisten.

[0020] Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass die Formschlusselemente einstu-

ckig mit dem Erosionsschutzbauteil ausgebildet sind. Hierdurch wird eine besonders einfache Montage ermöglicht. Das Erosionsschutzbauteil muss dann lediglich richtig an der Turbinenschaufel positioniert werden und kann dann mit leichtem Druck auf der Turbinenschaufel fixiert werden. Dabei dringen die Formschlusselemente in den Faserverbundwerkstoff ein, ohne dessen Struktur zu zerstören. Die einstückige Ausbildung des Erosionsschutzbauteils mit den Formschlusselementen vermeidet bei der Montage auch, dass das Anbringen der Formschlusselemente vergessen wird.

[0021] Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass die formschlüssige Verbindung durch Vernähen des Erosionsschutzbauteils mit der Turbinenschaufel erzielt wird. Durch das Vernähen des Erosionsschutzbauteils mit der Turbinenschaufel wird eine besonders sichere Verbindung des Erosionsschutzbauteils mit der Turbinenschaufel erzielt. Unter Vernähen wird im Rahmen der Erfindung sowohl das klassische Vernähen als auch das sogenannte Tuften verstanden. Beim klassischen Vernähen wird mit Ober- und Unterfaden vernäht und durch das Textil hindurch gestochen. Beim Tuften wird nur mit einem Oberfaden gearbeitet, der von einer Seite eingestochen wird nur teilweise in das Gewebe eindringt. Zum Vernähen wird vorzugsweise ein Formschlusselement (Draht/Garn/Faden) verwendet, welches unempfindlich gegen Erosion ist. Hierzu eignet sich beispielweise ein dünner Titandraht. Durch das Vernähen wird eine sehr intensive Verzahnung des Drahtes mit dem Faserverbundwerkstoff erzielt.

[0022] Ein erfindungsgemäßes Verfahren zum Herstellen einer Turbinenschaufel, mittels eines Infiltrierwerkzeuges zeichnet sich durch die folgenden Verfahrensschritte aus:

- Formschlüssiges Verbinden des Erosionsschutzbauteils mit dem Faserhalbzeug mittels wenigstens einem Formschlusselement;
- Einlegen des Faserhalbzeugs und des Erosionsschutzbauteils in das Infiltrierwerkzeug;
- Infiltrieren eines Matrixmaterials, insbesondere Harz, in das Faserhalbzeug;
- Aushärten des Matrixmaterials;
- Entnehmen der Turbinenschaufel mit Erosionsschutzbauteil aus dem Infiltrierwerkzeug.

[0023] Alternativ können wie bereits in der Beschreibungseinleitung beschrieben, auch trockene Faserlagen verwendet werden und die Herstellung im Vakuuminfusionsverfahren erfolgen. Wichtig ist dabei lediglich, dass das eigentliche Laminieren und Verbinden der Fasermatten erst nach dem Einbringen der formschlüssigen Verbindung von Erosionsschutzbauteilen mit dem Faserhalbzeugen erfolgt, so dass das Formschlusselement mit in die Turbinenschaufel einlaminiert wird und somit ein verbesserter Halt des Formschlusselementes gewährleistet wird.

[0024] Ein weiteres erfindungsgemäßes Verfahren

zum Herstellen einer Turbinenschaufel mittels eines Infiltrierwerkzeuges zeichnet sich durch die folgenden Verfahrensschritte aus:

- 5 - Formschlüssiges Vernähen des Erosionsschutzbauteils mit dem Faserhalbzeug mittels wenigstens eines Fadens als Formschlusselement;
- Einlegen des Faserhalbzeugs mit vernähtem Erosionsschutzbauteil in das Infiltrierwerkzeug;
- 10 - Infiltrieren eines Matrixmaterials, insbesondere Harz, in das Faserhalbzeug;
- Aushärten des Matrixmaterials;
- Entnehmen der Turbinenschaufel mit Erosionsschutzbauteil aus dem Infiltrierwerkzeug.

[0025] Auch hier kann wieder statt des Infiltrierens des Matrixmaterials bereits getränkten Fasermatten verwendet werden. Wichtig ist auch hier, dass die formschlüssige Verbindung, d.h. das Vernähen vor dem eigentlichen Einbringen des Infiltrats erfolgt, sodass die formschlüssige Verbindung zusätzlich durch Infiltrieren im Bauteil gesichert ist.

[0026] Ausführungsbeispiele und weitere Vorteile der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnungen erläutert. Es zeigt:

- Figur 1a Eine dreidimensionale Darstellung eines ersten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Turbinenschaufel;
- 30 Figur 1b Einen Längsschnitt durch die erfindungsgemäße Turbinenschaufel aus Figur 1a;
- Figur 2a Eine dreidimensionale Darstellung eines zweiten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Turbinenschaufel;
- 35 Figur 2b Einen Längsschnitt durch die in Figur 2a gezeigte erfindungsgemäße Turbinenschaufel.

[0027] Bei den Figuren handelt es sich jeweils um schematische Darstellungen. Gleiche bzw. funktionsgleiche Bauteile sind dabei figurübergreifend mit denselben Bezugszeichen versehen.

[0028] Figur 1a zeigt eine dreidimensionale Darstellung einer Turbinenschaufel 1, die insbesondere als Endstufenlaufschaufel für eine Dampfturbine geeignet ist. Die Turbinenschaufel 1 ist zumindest bereichsweise aus einem Faserverbundwerkstoff ausgebildet. Hierzu sind mehrere Lagen von Fasermatten übereinander angeordnet. Um die Vorteile der Fasern, d.h. die hohe Zugfestigkeit in Faserrichtung optimal ausnutzen zu können, sind die Matten so übereinander angeordnet, dass die Hauptfaserrichtung entsprechend der Hauptbeanspruchungsrichtung der Turbinenschaufel 1 ausgerichtet sind. Als Fasermaterial eignet sich insbesondere Glas- oder Kohlefaser. Die Fasermatten sind in einer Matrix eingebettet. Die Matrix besteht vorzugsweise aus einem Kunstharz und sorgt für die Verbindung der einzelnen Fasermatten untereinander. Die Matrix kann jedoch keine hohen Zug-

kräfte aufnehmen.

[0029] Da Turbinenschaufeln aus Faserverbundwerkstoff sehr empfindlich gegenüber Tropfenschlagerosion sind, weist die Turbinenschaufel 1 ein Erosionsschutzbauteil 2 auf. Das Erosionsschutzbauteil 2 ist in Figur 1 an der Eintrittskante 5 angeordnet. Die Eintrittskante 5 ist der am Stärksten von Erosion gefährdete Bereich der Turbinenschaufel 1, da die Wassertropfen im Wesentlichen hier auftreffen.

[0030] Das Erosionsschutzbauteil 2 ist im dargestellten Ausführungsbeispiel nur im Bereich der oberen Hälfte der Eintrittskante 5 angebracht. In diesem Bereich der Eintrittskante 5 besteht die größte Erosionsbeanspruchung, da im Betrieb der Turbine hier die größten Umfangsgeschwindigkeiten erzielt werden.

[0031] Figur 1b zeigt die in Figur 1a dargestellte Turbinenschaufel im Längsschnitt, wobei der Längsschnitt durch das Erosionsschutzbauteil 2 läuft. Wie aus Figur 1b ersichtlich ist, ist das Erosionsschutzbauteil 2 so ausgebildet und angeordnet, dass es sich in die Schaufelkontur der Turbinenschaufel 1 nahtlos einfügt. Hierdurch ergibt sich ein fließender Übergang, ohne Kanten, zwischen dem Erosionsschutzbauteil 2 und der Turbinenschaufel 1.

[0032] Das Erosionsschutzbauteil 2 ist vorzugsweise aus Hartmetall, Titan oder Keramik ausgebildet. Die große Härte dieser Materialien sorgt für eine hohe Erosionsbeständigkeit und damit für eine hohe Lebensdauer des Erosionsschutzbauteils 2. Da das Erosionsschutzbauteil 2 und die Turbinenschaufel 1 so gefertigt sind, dass sich das Erosionsschutzbauteil 2 nahtlos in die Schaufelkontur der Turbinenschaufel 1 einfügt, ist eine nachträgliche Bearbeitung des Erosionsschutzbauteils 2 nicht notwendig. Dies bietet große Vorteile, da die harten Werkstoffe nur sehr schwer nachträglich zu bearbeiten sind und dies mit hohem Fertigungsaufwand verbunden ist.

[0033] Um eine sichere Fixierung des Erosionsschutzbauteils 2 an der Turbinenschaufel 1 zu gewährleisten, ist das Erosionsschutzbauteil 2 sowohl mittels einer formschlüssigen als auch mittels einer stoffschlüssigen Verbindung an der Turbinenschaufel 1 angebracht. Die stoffflüssige Verbindung wird insbesondere durch Einlaminiert des Erosionsschutzbauteils 2 erzielt. Um die formschlüssige Verbindung zwischen dem Erosionsschutzbauteil 2 und der Turbinenschaufel 1 zu gewährleisten, verfügt das Erosionsschutzbauteil 2 über Formschlusselemente 3. Die Formschlusselemente 3 sind im Ausführungsbeispiel in Form von Pins, Nadeln oder Stiften ausgebildet. Die Pins, Nadeln oder Stifte greifen so in den Faserverbundwerkstoff ein, das eine gute Verzahnung zwischen dem Formschlusselement 3 und dem Faserverbundwerkstoff gegeben ist. Dies sorgt für eine sichere formschlüssige Verbindung zwischen Erosionsschutzbauteil 2 und Turbinenschaufel 1. Die Formschlusselemente 3 sind dabei so angeordnet, dass insbesondere während des Betriebes der Turbinenschaufel eine sichere formschlüssige Verbindung gewährleistet ist. Hierzu sind die Formschlusselemente 3 in einem Winkel ange-

stellt, um so der Fliehkraftbeanspruchung im Betrieb der Turbine entgegen zu wirken. Die Formschlusselemente 3 sind dabei möglichst schlank ausgebildet, sodass sie mit einem geringen Kraftaufwand in den Faserverbundwerkstoff eindringen können und diesen beim Eindringen möglichst nicht oder nur leicht beschädigen. Hierdurch wird sichergestellt dass der Faserverbundwerkstoff nicht aufgrund einer Beschädigung versagt.

[0034] Aufgrund der sowohl formschlüssigen als auch stoffschlüssigen Verbindung zwischen dem Erosionsschutzbauteil 2 und der Turbinenschaufel 1 ergibt sich eine verbesserte Befestigung des Erosionsschutzbauteils 2 und damit eine erhöhte Bauteilsicherheit gegenüber dem Stand der Technik. Hierdurch können größere Schäden in der Turbine, durch sich ablösende Erosionsschutzbauteile 2 sicher vermieden werden.

[0035] Die Turbinenschaufel 1 kann zusätzlich weitere Erosionsschutzbauteile 2 aufweisen. Insbesondere an der Austrittskante der Turbinenschaufel 1 wird häufig ein Erosionsschutzbauteil 2 angeordnet. Im Normalbetrieb ist die Austrittskante nicht erosionsgefährdet, da hier kein Tropfenschlag vorliegt. Das Erosionsschutzbauteil 2 an der Austrittskante der Turbinenschaufel 1 ist für den Ventilationsbetrieb vorgesehen. Im Ventilationsbetrieb der Dampfturbine wird, um eine Überhitzung zu vermeiden, Wasser von hinten gegen die Turbinenschaufel 1 gespritzt. Hierbei kann es unter ungünstigen Bedingungen vorkommen, dass Wassertropfen auf die Austrittskante der Turbinenschaufel 1 auftreffen. Dies führt dann ebenfalls zu einer Erosionsbelastung. Aus diesem Grund ist häufig ein Erosionsschutzbauteil 2 an der Austrittskante der Turbinenschaufel 1 vorgesehen. Insbesondere bei Turbinenschaufeln aus Faserverbundwerkstoffen macht ein solches Erosionsschutzbauteil 2 an der Austrittskante, Sinn, da der Faserverbundwerkstoff sehr empfindlich gegen Erosion ist.

[0036] Figur 2a zeigt eine dreidimensionale Darstellung eines zweiten Ausführungsbeispiels einer Turbinenschaufel 1. Die Turbinenschaufel 1 ist weitgehend identisch zu der Turbinenschaufel 1 im ersten Ausführungsbeispiel ausgebildet. So ist die Turbinenschaufel 1 ebenfalls mit einem Erosionsschutzbauteil 2 an der Eintrittskante 5 ausgebildet. Um einen sicheren Halt des Erosionsschutzbauteils 2 an der Turbinenschaufel 1 zu gewährleisten, ist das Erosionsschutzbauteil 2 wiederum mittels formschlüssiger als auch mittels stoffflüssiger Verbindung an der Turbinenschaufel 1 befestigt. Im Unterschied zum ersten Ausführungsbeispiel erfolgt die formschlüssige Verbindung zwischen dem Erosionsschutzbauteil 2 und der Turbinenschaufel 1 jedoch durch Vernähen des Erosionsschutzbauteils mit der Turbinenschaufel. Beim Vernähen kommt es zu einer intensiven Verzahnung des Fadens 4 mit dem Faserverbundwerkstoff der Turbinenschaufel 1. Hierdurch ergibt sich eine besonders gute formschlüssige Verbindung. Als Faden 4 eignen sich grundsätzlich alle erosionsbeständigen Materialien. Beispielsweise kann der Faden aus einem dünnen Titan- oder Stahldraht ausgebildet sein. Zusätz-

lich zum Vernähen des Erosionsschutzbauteils 2 mit der Turbinenschaufel 1 wird das Erosionsschutzbauteil 2 mit der Turbinenschaufel 1 laminiert. Durch das Einlaminiere werden zusätzlich auch die Fäden 4 in der Turbinenschaufel 1 fixiert, so dass sich diese nicht während des Turbinenbetriebs bewegen könnten, was zu Scheuerstellen und damit letztendlich zum Versagen der Naht führen könnte. Für den grundsätzlichen Aufbau des Erosionsschutzbauteils 2 an der Turbinenschaufel 1 sei hier auf die Beschreibung zu Figur 1a und 1b verwiesen. **[0037]** Nachfolgend sollen zwei erfindungsgemäße Verfahren zum Herstellen einer Turbinenschaufel erläutert werden.

[0038] Zunächst wird ein Verfahren zum Herstellen einer Turbinenschaufel 1 nach dem ersten Ausführungsbeispiel beschrieben. Zum Herstellen einer solchen Turbinenschaufel 1 wird zunächst das Erosionsschutzbauteil 2 mit dem Halbzeug der Turbinenschaufel 1 formschlüssig verbunden. Hierzu werden die am Erosionsschutzbauteil 2 angeordneten Formschlüsselemente 3 in das Faserhalbzeug eingedrückt. Hierbei kommt es zu einer Verzahnung der Formschlüsselemente 3 und des Faserhalbzeugs der Turbinenschaufel 1. Anschließend wird das Faserhalbzeug mit dem Erosionsschutzbauteil 2 in das Infiltrierwerkzeug eingelegt und es erfolgt die Infiltrierung mit dem Matrixmaterial. Dabei dringt das Matrixmaterial in das Faserhalbzeug ein. Als Matrixmaterial eignet sich insbesondere Kunstharz. Nachdem die Infiltrierung des Materials erfolgt ist, wird das Matrixmaterial ausgehärtet und anschließend kann die Turbinenschaufel 1 mitsamt dem Erosionsschutzbauteil 2 aus dem Infiltrierwerkzeug genommen werden. Das Erosionsschutzbauteil 2 ist dabei sowohl formschlüssig über die Formschlüsselemente 3 als auch stoffschlüssig mittels der Infiltrierung an der Turbinenschaufel 1 befestigt. Dies gewährleistet auch bei hohen Umfangsgeschwindigkeiten eine stets sichere Anbindung des Erosionsschutzbauteils 2 an der Turbinenschaufel 1. Ein Lösen des Erosionsschutzbauteils 2 kann somit weitgehend ausgeschlossen werden. Durch das gleichzeitige Infiltrieren von Erosionsschutzbauteil 2 mit den an ihm angeordneten Formschlüsselementen 3 und dem Faserhalbzeug werden auch die Formschlüsselemente 3 mit einlaminiert, womit diese zusätzlich einen sicheren Halt in der Turbinenschaufel 1 erhalten.

[0039] Wie bereits in der Beschreibungseinleitung erläutert kann anstelle des Infiltrierens des Faserhalbzeugs mit Harz auch bereits getränkte Fasermatten verwendet werden, die dann im Infiltrierwerkzeug unter Druck und Temperatur miteinander verbunden werden. Das Verfahren zum Herstellen einer Turbinenschaufel nach dem zweiten Ausführungsbeispiel ist nahezu identisch zu dem Verfahren welches zuvor beschrieben worden. Die formschlüssige Verbindung zwischen dem Erosionsschutzbauteil 2 und der Turbinenschaufel 1 erfolgt dabei zunächst durch Vernähen des Erosionsschutzbauteils 2 mit dem Faserhalbzeug mittels eines geeigneten Fadens 4. Wie bereits beschrieben eignet sich hier als

Fadenmaterial jedes Material welches eine hinreichende Erosionsschutzbeständigkeit aufweist. Nachdem das Faserhalbzeug mit dem Erosionsschutzbauteil 2 vernäht ist, wird das Faserhalbzeug zusammen mit dem Erosionsschutzbauteil 2 in das Infiltrierwerkzeug eingelegt. Anschließend erfolgt ein Infiltrieren des Matrixmaterials in das Faserhalbzeug. Als Matrixmaterial eignet sich wiederum vorteilhafterweise ein Harz. Nach dem Infiltrieren erfolgt wiederum ein Aushärten des Matrixmaterials. Anschließend kann die fertige Turbinenschaufel 1 mit dem Erosionsschutzbauteil 2 aus dem Infiltrierwerkzeug herausgenommen werden.

[0040] Je nach Oberflächengüte und Fertigungsgenauigkeit kann die Turbinenschaufel 1 nach dem Herausnehmen aus dem Infiltrierwerkzeug nachbearbeitet werden.

[0041] Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass durch die erfindungsgemäße Befestigung des Erosionsschutzbauteils mittels formschlüssiger als auch stoffschlüssiger Verbindung eine wesentlich sicherere Befestigung des Erosionsschutzbauteils an der Turbinenschaufel gewährleistet werden. Dies sorgt dafür, dass sich das Erosionsschutzbauteil auch bei hohen Umfangsgeschwindigkeiten der Turbinenschaufel nicht von dieser lösen kann und die Turbine beschädigt. Somit sorgt die erfindungsgemäße Turbinenschaufel für eine verbesserte Betriebssicherheit gegenüber den im Stand der Technik beschriebenen Turbinenschaufeln.

Patentansprüche

1. Turbinenschaufel (1), insbesondere Endstufenschaufel für eine Dampfturbine, wobei die Turbinenschaufel (1) zumindest bereichsweise aus Faserverbundwerkstoff besteht und die Turbinenschaufel (1) zumindest ein Erosionsschutzbauteil (2) umfasst, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Erosionsschutzbauteil (2) mittels einer formschlüssigen und einer stoffschlüssigen Verbindung an der Turbinenschaufel (1) befestigt ist.
2. Turbinenschaufel (1), nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die formschlüssige Verbindung mittels eines Formschlüsselementes (3) insbesondere mittels Pins, Nadeln oder Stiften, welche in den Faserverbundwerkstoff eingreifen erzielt wird.
3. Turbinenschaufel (1), nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Formschlüsselemente (3), einstückig mit dem Erosionsschutzbauteil (2) ausgebildet sind.
4. Turbinenschaufel (1), nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die formschlüssige Verbindung durch Vernähen des Erosionsschutzbauteils (2) mit der Turbinenschaufel

(1) erzielt wird.

5. Verfahren zum Herstellen einer Turbinenschaufel (1), mittels eines Infiltrierwerkzeugs nach einem der Ansprüche 2 bis 4, 5
gekennzeichnet durch die folgenden Verfahrensschritte:

- Formschlüssiges Verbinden des Erosionsschutzbauteils (2) mit dem Faserhalbzeug mittels wenigstens einem Formschlusselementes (3) 10
- Einlegen eines Faserhalbzeugs und des Erosionsschutzbauteils (2) in das Infiltrierwerkzeug
- Infiltrieren eines Matrixmaterials, insbesondere Harz, in das Faserhalbzeug 15
- Aushärten des Matrixmaterials
- Entnehmen der Turbinenschaufel (1) mit Erosionsschutzbauteil (2) aus dem Infiltrierwerkzeug. 20

6. Verfahren zum Herstellen einer Turbinenschaufel (1), mittels eines Infiltrierwerkzeugs nach Anspruch 4, **gekennzeichnet durch** die folgenden Verfahrensschritte: 25

- Formschlüssiges vernähen des Erosionsschutzbauteils (2) mit dem Faserhalbzeug mittels wenigstens eines Fadens (4) als Formschlusselement (3) 30
- Einlegen eines Faserhalbzeugs mit vernähtem Erosionsschutzbauteil (2) in das Infiltrierwerkzeug
- Infiltrieren eines Matrixmaterials, insbesondere Harz, in das Faserhalbzeug 35
- Aushärten des Matrixmaterials
- Entnehmen der Turbinenschaufel (1) mit Erosionsschutzbauteil (2) aus dem Infiltrierwerkzeug. 40

45

50

55

FIG 1A



FIG 1B

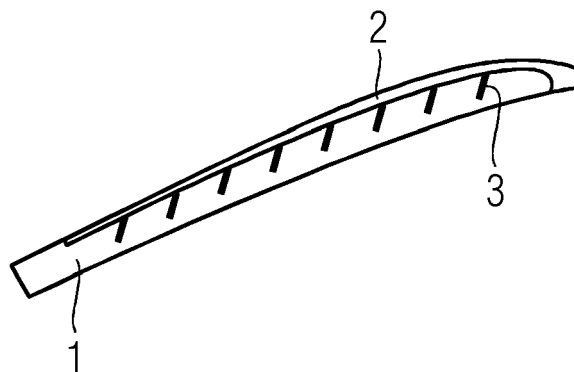


FIG 2A

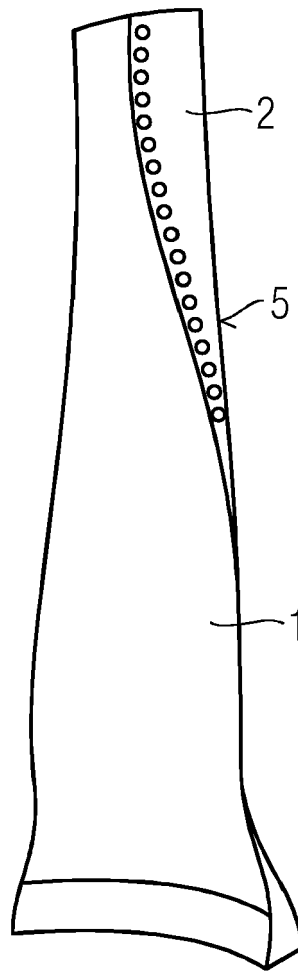


FIG 2B

