



(11) **EP 4 446 564 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
16.10.2024 Patentblatt 2024/42

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F01D 5/22^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **24194503.9**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
**F01D 5/288; F01D 5/027; F01D 5/225;
F05D 2220/3215**

(22) Anmeldetag: **27.12.2022**

(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 ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(71) Anmelder: **Siemens Energy Global GmbH & Co.
KG**
81739 München (DE)

(72) Erfinder:
• **Schüler, Thorsten**
45359 Essen (DE)
• **Stüer, Heinrich**
45721 Haltern (DE)
• **McCracken, James**
York, 29745 (US)

(30) Priorität: **24.01.2022 DE 102022200711**

(62) Dokumentnummer(n) der früheren Anmeldung(en)
nach Art. 76 EPÜ:
22844209.1 / 4 441 335

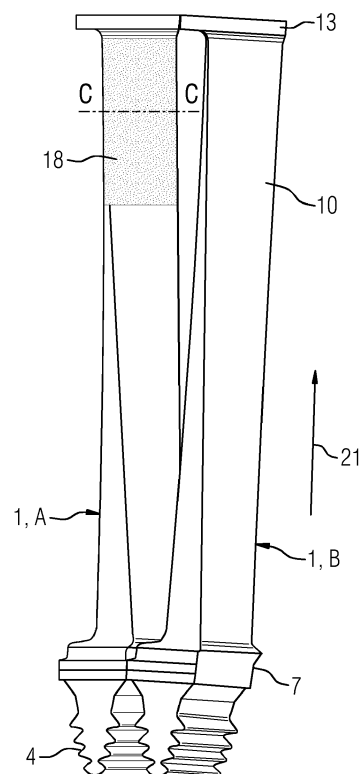
Bemerkungen:

Diese Anmeldung ist am 14.08.2024 als
Teilanmeldung zu der unter INID-Code 62 erwähnten
Anmeldung eingereicht worden.

(54) **TEILWEISE BESCHICHTETE TURBINENSCHAUFEL, ROTOR UND
HERSTELLUNGSVERFAHREN**

(57) Die Erfindung betrifft eine Turbinenschaufel (1, A) mit Stützflügel, die auf ihrer oberen Hälfte eine Beschichtung (18) aufweist, wobei sich die Beschichtung (18) höchstens bis zu 40% der radialen Länge eines Schaufelblatts (10) der Turbinenschaufel (1, A) erstreckt.

FIG 1



EP 4 446 564 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Rotor mit teilweise beschichteten Turbinenschaufeln und ein Verfahren.

[0002] Ein Problem beim Betrieb von Turbinen mit Turbinenschaufeln sind selbst erregte Vibrationen (Flattern) an der Schaufelspitze der Turbinenschaufel.

[0003] Bisher ist gängige Strategie, um Flattern zu unterdrücken, eine Änderung des Schwingungsverhaltens einiger Schaufeln im Rad durch Änderung z.B. ihrer Steifigkeit oder Dämpfungseigenschaften zu erzielen.

[0004] Die EP 1 813 773 A2 offenbart ein Blisk, bei dem zur Ausbalancierung an verschiedenen Stellen eine Beschichtung verschiedenartig aufgebracht wird.

[0005] Die US 2020/0032659 A1 offenbart einen Rotor, bei dem die Turbinenschaufeln Stützflügel aufweisen. Auch hier kommt es zum Flattern.

[0006] Es ist daher Aufgabe der Erfindung oben genanntes Problem zu lösen.

[0007] Die Aufgabe wird gelöst durch eine Turbinenschaufeln gemäß Anspruch 1 ein Rotor gemäß Anspruch 11 und ein Verfahren gemäß Anspruch 12.

[0008] In den Unteransprüchen sind weitere Vorteile aufgelistet, die beliebig miteinander kombiniert werden können, um weitere Vorteile zu erzielen.

[0009] Die Beschreibung und die Figuren stellen nur Ausführungsbeispiel der Erfindung dar.

[0010] Neu ist die erfindungsgemäße Teilbeschichtung zur Änderung der Masse bei Schaufeln, die eine Kopplung aufweisen, insbesondere bei Turbinenschaufeln mit Deckblatt.

[0011] Es zeigen die

Figur 1 eine erfindungsgemäße Turbinenschaufel und zum Teil einen erfindungsgemäßen Rotor, sowie

Figur 2 einen Querschnitt durch eine erfindungsgemäße Turbinenschaufel.

[0012] In Figur 1 sind zwei Typen A, B von Turbinenschaufeln 1 dargestellt, wobei eine Turbinenschaufel A eine zusätzliche Beschichtung 18 aufweist und die andere Turbinenschaufel B als einzigen Unterschied nicht.

[0013] Ansonsten sind sie gleich ausgebildet oder gleich hergestellt.

[0014] Vorzugsweise sind das Turbinenschaufeln für eine Gasturbine. Die Idee ist aber anwendbar auf alle Arten von Turbinen, Kompressoren oder Maschinen mit Schaufeln.

[0015] Eine Turbinenschaufel 1, A, B weist einen Schaufelfuß 4 auf, der vorzugsweise eine Tannenbaumstruktur aufweist.

[0016] Der Schaufelfuß 4 wird später in eine sprechende Nut einer Turbinenscheibe oder Rotorscheibe eingeführt, um einen Rotor für eine Rotorstufe zu bilden.

[0017] An den Schaufelfuß 4 schließt sich in radialer Richtung 21 eine Schaufelplattform 7 an.

[0018] Nach der Schaufelplattform 7 erstreckt sich ein Schaufelblatt 10 in radialer Richtung 21 zum radialen Ende des Schaufelblatts 10 hin.

[0019] Am Ende des Schaufelblatts 10 ist hier vorzugsweise ein Deckband 13 vorhanden.

[0020] Das Deckband 13 stellt eine Kopplung zwischen benachbarten Turbinenschaufeln 1, A, B dar.

[0021] Eine andere Art von Kopplung stellen Stützflügel dar, wobei solche Turbinenschaufeln insbesondere kein Deckband aufweisen.

[0022] Ebenso gibt es aber auch Turbinenschaufeln mit Deckband und Stützflügeln.

[0023] Weitere Kopplungsarten sind denkbar für diese Erfindung.

[0024] Die erfindungsgemäße Turbinenschaufel des Typs A weist auf ihrer oberen Hälfte des Schaufelblatts 10, insbesondere am radialen Ende die Beschichtung 18 auf.

[0025] Die Beschichtung 18 ist vorzugsweise metallisch.

[0026] Die Beschichtung 18 stellt eine Überzugsbeschichtung dar.

[0027] Vorzugsweise wird eine NiCoCrAlX Beschichtung verwendet.

[0028] X entspricht vorzugsweise Yttrium (Y), Rhenium (Re), Tantal (Ta) und/oder Silizium (Si).

[0029] Vorzugsweise ist es eine NiCoCrAlY, NiCoCrAlYT_a oder NiCoCrAlYRe, NiCoCrAlYSi Beschichtung.

[0030] Ansonsten weisen die Turbinenschaufeln A, B insbesondere keine Beschichtungen auf dem Schaufelblatt 10 auf.

[0031] Jedoch können auch die Turbinenschaufeln des Typs A, B eine Beschichtung auf dem Schaufelblatt 10 außerhalb des Bereichs für die Beschichtung 18, insbesondere auf dem kompletten Schaufelblatt 10, aufweisen.

[0032] Dies kann eine Diffusionsbeschichtung darstellen, also beispielweise eine Aluminidbeschichtung, hergestellt vorzugsweise durch Alitierung.

[0033] In diesem Fall wird die Beschichtung 18 über die Diffusionsbeschichtung aufgebracht.

[0034] Ebenso können die Turbinenschaufeln A, B auch schon eine Überzugsbeschichtung auf dem Schaufelblatt 10, insbesondere auf dem kompletten Schaufelblatt 10 aufweisen.

[0035] Wenn die Turbinenschaufel des Typs A, B schon eine Überzugsbeschichtung auf dem Schaufelblatt aufweisen, ist die Turbinenschaufel des Typs A dann nur am radialen Ende durch die Beschichtung 18 dicker ausgeführt, insbesondere durch dasselbe Beschichtungsmaterial wie auf dem Rest des Schaufelblatts 10.

[0036] Die Beschichtung 18 erstreckt sich nur am radialen Ende des Schaufelblatts 10 und weist daher eine maximale Länge von höchstens 40%, insbesondere bis höchstens 30%, der Länge des Schaufelblatts 10 auf.

[0037] Vorzugsweise erstreckt sich die Beschichtung 18 bis an das Deckband 13 heran.

[0038] Insbesondere ist die Beschichtung 18 nur auf dem Schaufelblatt, also nicht auch auf der Innenseite des Deckbands 13 vorhanden.

[0039] Bei Turbinenschaufel mit Stützflügeln ist die Beschichtung 18 insbesondere bis zur Schaufelspitze vorhanden. Ggf. sind die Stützflügel bis auf deren Kontaktflächen mit der Beschichtung 18 abgedeckt.

[0040] Die Beschichtung 18 weist vorzugsweise eine Dicke von mindestens 0,01mm und vorzugsweise bis 0,8mm höchstens auf. Vorzugsweise beträgt die Schichtdicke höchstens 0,6mm.

[0041] Der Bereich von der Beschichtung 18 zum unbeschichteten Teil oder dünner beschichteten Teil des Schaufelblatts 10 wird vorzugsweise auslaufend als Übergangsbereich gestaltet, um keine Stufen auf dem Schaufelblatt 10 zu erzeugen.

[0042] In Figur 2 ist ein Schnitt C-C durch die Turbinenschaufel A mit der Beschichtung 18 dargestellt.

[0043] Vorzugsweise stellt die Beschichtung 18 eine umlaufende Beschichtung um das Schaufelblatt 10 dar.

[0044] Variationen davon sind denkbar wie zum Beispiel nur eine Beschichtung auf der Saug- oder Druckseite der Turbinenschaufel A.

[0045] Ein Rotor weist mehrere Stufen auf: zwei, drei oder mehr. Vorzugsweise werden die Turbinenschaufeln des Typs A für die dritte und/oder vierte Stufe der Turbine oder vorzugsweise für die beiden letzten Stufen verwendet.

[0046] Ein Rotor mit solchen Turbinenschaufel des Typs A wird dabei wie folgt gebildet:

Es werden die Eigenfrequenzen vorzugsweise nach der Ping-Methode (Ping-Frequenzen der freistehenden Schaufel für den Flutter-relevanten Mode) der Turbinenschaufeln 1 gemessen und der Größe der gemessenen Eigenfrequenz nach sortiert.

[0047] Die Frequenzen der Turbinenschaufeln 1 werden einzeln gemessen und nicht im eingebauten Zustand.

[0048] Der Einfluss auf die Eigenfrequenz im gekoppelten/eingebauten Zustand wird vorherberechnet.

[0049] Dann wird die Sortierung in zwei insbesondere gleich große Gruppen unterteilt, bei dem eine Gruppe mit kleinen und eine Gruppe mit größeren Eigenfrequenzen gebildet wird, sodass die Gruppe mit den kleineren Eigenfrequenzen immer eine Eigenfrequenz kleiner gleich einer beliebigen Eigenfrequenz aus der Gruppe mit den größeren Eigenfrequenzen aufweist.

[0050] Die Gruppe der Turbinenschaufeln mit den kleineren Eigenfrequenzen erhalten die erfindungsgemäße Beschichtung 18.

[0051] Der Rotor wird zusammengebaut und stellt daher keinen Blisk dar.

[0052] Der Einbau der Turbinenschaufeln A, B erfolgt unter den Aspekten der Unwucht-Minimierung des Rotors und der maximalen Frequenzunterschiede der Turbinenschaufeln A und B.

[0053] Dabei stellen vorzugsweise eine Hälfte der Turbinenschaufeln für eine Rotorscheibe / Stufe die Turbi-

nenschaufeln des Typs A dar und die andere Hälfte wird gebildet durch die Turbinenschaufeln des Typs B.

[0054] Eine andere Aufteilung als die hälftig ist ebenfalls denkbar.

[0055] Die Beschichtung 18 ist vorzugsweise auf allen solchen Turbinenschaufel des Typs A gleich ausgestaltet, d.h. u.a. gleiche Dicke oder gleiche Verdickung, gleiche Ausdehnung, gleiches Material.

[0056] Danach werden die Schaufeln vorzugsweise in einer bestimmten Reihenfolge, insbesondere in der Reihenfolge A-B-A-B, ... in die entsprechenden Nuten einer Rotorscheibe eingebaut und bilden so eine Stufe als einen Teil eines Rotors.

[0057] Andere Reihenfolgen wie A-A-B-A-A-B, ... bzw. A-B-B-A-B-B, ... bzw. A-A-B-B- ... sind ebenfalls denkbar aufgrund anderer Selektion bezüglich der Eigenfrequenzen.

20 Patentansprüche

1. Rotor

mit mindestens zwei Stufen,
insbesondere mit mindestens drei Stufen,
ganz insbesondere mit mindestens vier Stufen,
wobei zumindest die letzte Stufe,
insbesondere zumindest die beiden letzten Stufen,
ganz insbesondere nur die beiden letzten Stufen,
mehrere Turbinenschaufeln (A) mit Stützflügel und mit einer Beschichtung (18) aufweisen,
wobei die Turbinenschaufeln (A)
auf ihrer oberen Hälfte ihres Schaufelblatts (10) eine Beschichtung (18) aufweisen,
insbesondere die an ihrem radialen Ende eine Beschichtung (18) aufweisen,
ganz insbesondere nur an ihrem radialen Ende eine Beschichtung die Beschichtung (18) aufweist,
die insbesondere metallisch ausgebildet ist,
wobei sich die Beschichtung (18) höchstens bis zu 40%, insbesondere höchstens bis zu der 30%,
der radialen Länge eines Schaufelblatts (10) der Turbinenschaufel (A) erstreckt.
und ebenso Turbinenschaufeln (B) ohne die Beschichtung (18) aufweist,
wobei insbesondere eine Hälfte der Turbinenschaufeln einer Stufe von beschichteten oder lokal verdickten Turbinenschaufeln des Typs A gebildet wird und die andere Hälfte von unbeschichteten oder nicht lokal verdickten Turbinenschaufel des Typs B.

2. Rotor nach Anspruch 1,
wobei die durch die Beschichtung (18) beschichte-

ten oder lokal verdickten Turbinenschaufeln (A) und die Turbinenschaufeln (B) in einer bestimmten radialen Reihenfolge in der Scheibe des Rotors angeordnet sind, insbesondere in der Folge A-B-A-B,

3. Rotor nach Anspruch 1,
bei dem die Beschichtung (18) nur auf dem Schaufelblatt (10) vorhanden ist.
4. Rotor nach einem oder beiden der Ansprüche 1 oder 3, bei dem sich die Beschichtung (18) bis direkt unter das Deckband (13) erstreckt,
insbesondere nur bis direkt unter das Deckband (13) erstreckt.
5. Rotor nach einem oder mehreren der Ansprüche 1, 3 oder 4,
bei dem sich die Beschichtung (18) einer Turbinenschaufel (A) mit Stützflügel bis zur Schaufelspitze erstreckt.
6. Rotor nach einem oder mehreren der Ansprüche 1, 3, 4 oder 5,

bei dem die Beschichtung (18) eine NiCoCrAlX Legierung aufweist,
wobei X ausgewählt wird aus der Gruppe: Yttrium (Y), Rhenium (Re), Tantal (Ta), Silizium (Si).
7. Rotor nach einem oder mehreren der Ansprüche 1, 3, 4, 5 oder 6,

bei dem die Beschichtung (18) eine Schichtdicke bis zu 0,8mm aufweist,
insbesondere bis zu 0,6mm aufweist.
8. Rotor nach einem oder mehreren der Ansprüche 1, 3, 4, 5, 6 oder 7,
bei dem sich die Beschichtung (18) vollständig über den Umfang des Schaufelblatts (10) erstreckt.
9. Rotor nach einem oder mehreren der Ansprüche 1, 3, 4, 5, 6, 7 oder 8,
bei dem nur die Beschichtung (18) auf dem Schaufelblatt (10) vorhanden ist.
10. Rotor nach einem oder mehreren der Ansprüche 1, 3, 4, 5, 6, 7 oder 8,
bei dem die Beschichtung (18) auf dem Schaufelblatt (10) eine Verdickung einer bereits vorhandenen Beschichtung auf dem Schaufelblatt (10) darstellt.
11. Rotor nach einem oder mehreren der Ansprüche 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 oder 10,

bei dem der Bereich von der Beschichtung (18) zum unbeschichteten Teil oder dünner beschichteten Teil der Turbinenschaufel (A) aus-

laufend als Übergangsbereich gestaltet wird, um keine Stufen auf dem Schaufelblatt (10) zu erzeugen.

- 5 12. Verfahren zur Herstellung eines Rotors mit Turbinenschaufeln (A) nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche 1 bis 11,

bei dem die Eigenfrequenzen von Turbinenschaufeln (1) gemessen und in zwei Gruppen (A, B),
insbesondere gleich große Gruppen (A, B) unterteilt werden, bei dem
eine Gruppe (A) mit kleinen Eigenfrequenzen und
eine Gruppe (B) mit größeren Eigenfrequenzen gebildet wird, wobei dann die Gruppe (A) mit den kleineren Eigenfrequenzen immer eine Eigenfrequenz kleiner gleich einer beliebigen Eigenfrequenz aus der Gruppe (B) mit den größeren Eigenfrequenzen aufweist,
wobei dann die Gruppe der Turbinenschaufeln (A) mit den kleineren Eigenfrequenzen die erfindungsgemäße Beschichtung (18) erhält.

FIG 1

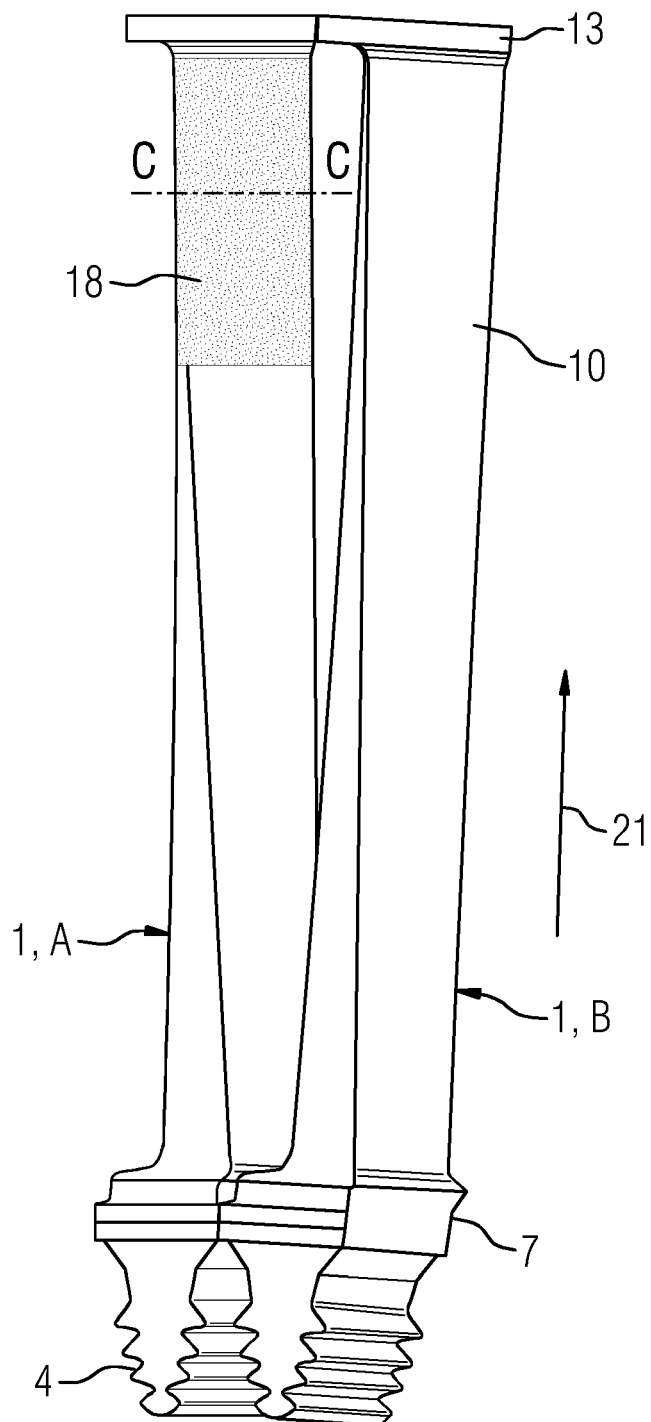
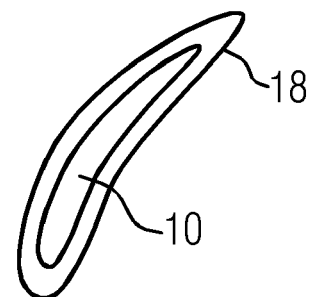


FIG 2
(C - C)



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

- EP 1813773 A2 [0004]
- US 20200032659 A1 [0005]