



(10) **DE 10 2018 211 193 A1** 2020.01.09

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2018 211 193.6**

(22) Anmeldetag: **06.07.2018**

(43) Offenlegungstag: **09.01.2020**

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

**F01D 9/04 (2006.01)**

(71) Anmelder:  
**MTU Aero Engines AG, 80995 München, DE**

(72) Erfinder:  
**Böck, Alexander, 82288 Kottgeisering, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

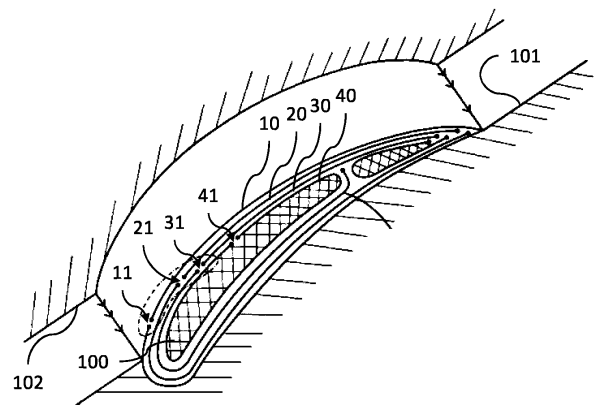
<b>US</b>	<b>2005 / 0 053 466</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>2010 / 0 021 290</b>	<b>A1</b>
<b>EP</b>	<b>0 526 057</b>	<b>A1</b>
<b>WO</b>	<b>2015/ 073 852</b>	<b>A1</b>

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Gasturbinenschaufel**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft eine Schaufel für eine Gasturbine, insbesondere eines Flugtriebwerks, die wenigstens teilweise aus keramischem Faserverbundwerkstoff mit mehreren übereinander angeordneten Gewebelagen (10, 20, 30, 40) hergestellt ist, wobei wenigstens ein Paar aufeinander angeordneter Gewebelagen (10, 20) eine erste Gewebelage (10), die wenigstens eine erste Unterbrechungsstelle zwischen zwei einander zugewandten ersten Kanten (11) dieser Gewebelage aufweist, und eine zweite Gewebelage (20) aufweist, die wenigstens eine der ersten Unterbrechungsstelle (11) benachbarte zweite Unterbrechungsstelle zwischen zwei einander zugewandten zweiten Kanten (21) der zweiten Gewebelage aufweist, die von der ersten Unterbrechungsstelle (11) versetzt ist.



## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Schaufel für eine Gasturbine, insbesondere eines Flugtriebwerks, eine Turbinen- oder Verdichterstufe für eine Gasturbine mit der Schaufel sowie ein Verfahren zum Herstellen der Schaufel.

**[0002]** Eine Aufgabe einer Ausführung der vorliegenden Erfindung ist es, eine Gasturbinenschaufel zu verbessern.

**[0003]** Diese Aufgabe wird durch eine Schaufel mit den Merkmalen des Anspruchs 1 bzw. ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 7 gelöst. Anspruch 6 stellt eine Turbinen- oder Verdichterstufe für eine Gasturbine mit wenigstens einer hier beschriebenen Schaufel unter Schutz. Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

**[0004]** Nach einer Ausführung der vorliegenden Erfindung wird bzw. ist (wenigstens) eine Schaufel für eine, insbesondere (wenigstens) einer, Turbinen- und/oder Verdichterstufe für eine, insbesondere einer, Gasturbine, insbesondere eines Flugtriebwerks, insbesondere ihr Schaufelblatt, Schaufelfuß und/oder eine schaufelfussseitige und/oder schaufelfulattspitzenseitige Schaufelplattform, vollständig oder teilweise aus keramischem Faserverbundwerkstoff bzw. mit mehreren übereinander angeordneten Gewebelagen hergestellt.

**[0005]** Der keramische Faserverbundwerkstoff („Ceramic Matrix Composite“, CMC) weist in einer Ausführung eine Matrix, die in einer Ausführung Keramik, insbesondere Aluminiumoxid, Siliciumcarbid oder dergleichen, aufweist, auf, in die ein Fasergewebe mit Fasern bzw. Faserbündeln eingebettet ist bzw. wird, die in einer Ausführung Keramik, insbesondere Aluminiumoxid, Siliciumcarbid oder dergleichen, aufweisen. Faserbündel des Fasergewebes, sogenannte Stränge bzw. Rovings, weisen in einer Ausführung mehrere, insbesondere parallel angeordnete, Filamente bzw. (Einzel)Fasern und/oder einen, insbesondere maximalen, minimalen oder mittleren, Durchmesser von wenigstens 1 mm und/oder höchstens 10 mm, insbesondere höchstens 5 mm, auf.

**[0006]** Die vorliegende Erfindung ist aufgrund der Betriebsbedingungen insbesondere für Leit- und Laufschaufeln von Turbinenstufen geeignet, die entsprechend eine besonders vorteilhafte Anwendung darstellen. Durch die Verwendung von keramischem Faserverbundwerkstoff können in einer Ausführung vorteilhaft leichte(re) und/oder mechanisch und/oder thermisch feste(re) Schaufeln zur Verfügung gestellt werden.

**[0007]** Nach einer Ausführung der vorliegenden Erfindung weisen ein oder mehrere Paare aufeinander angeordneter Gewebelagen (jeweils) eine erste Gewebelage, die wenigstens eine erste Unterbrechungsstelle zwischen zwei einander zugewandten ersten Kanten dieser Gewebelage aufweist, und eine zweite Gewebelage auf, die wenigstens eine der ersten Unterbrechungsstelle benachbarte bzw. nächstliegende zweite Unterbrechungsstelle zwischen zwei einander zugewandten zweiten Kanten der zweiten Gewebelage aufweist.

**[0008]** Die ersten Kanten stoßen in einer Ausführung an bzw. in der ersten Unterbrechungsstelle aneinander an, so dass die erste Unterbrechungsstelle einen Stoß bzw. eine Stoßstelle in der ersten Gewebelage bildet. Zusätzlich oder alternativ stoßen in einer Ausführung die zweiten Kanten an bzw. in der zweiten Unterbrechungsstelle aneinander an, so dass die zweite Unterbrechungsstelle einen Stoß bzw. eine Stoßstelle in der zweiten Gewebelage bildet. Hierdurch kann in einer Ausführung vorteilhaft ein besonders stabiler Faserverbundwerkstoff hergestellt werden.

**[0009]** Gleichermaßen können die ersten Kanten an der ersten Unterbrechungsstelle und/oder die zweiten Kanten an der zweiten Unterbrechungsstelle voneinander beabstandet sein oder einander überlappen. In einer Ausführung ist die (erste bzw. zweite) Unterbrechungsstelle die Mittellinie zwischen den beiden (ersten bzw. zweiten) Kanten.

**[0010]** Nach einer Ausführung der vorliegenden Erfindung ist die zweite Unterbrechungsstelle von bzw. relativ zu der ersten bzw. gegen die erste Unterbrechungsstelle versetzt, in einer Ausführung in Flächenrichtung der Gewebelagen bzw. senkrecht zu deren Wandstärke und/oder um wenigstens das 1,5-fache, vorzugsweise wenigstens das Doppelte, eines, insbesondere maximalen, minimalen oder mittleren, Durchmessers eines der ersten Unterbrechungsstelle benachbarten bzw. nächstliegenden Faserbündels der ersten Gewebelage.

**[0011]** In einer Ausführung bilden mehrere, insbesondere aufeinander angeordnete, Gewebelagen jeweils paarweise ein solches Paar. Mit anderen Worten sind in einer Ausführung die einander benachbarten bzw. nächstliegenden Unterbrechungsstellen von mehreren, insbesondere wenigstens drei, in einer Ausführung wenigstens vier, vorzugsweise wenigstens fünf, aufeinander angeordneten Gewebelagen jeweils paarweise, in einer Ausführung in derselben Richtung, gegeneinander versetzt, in einer Ausführung in Flächenrichtung der Gewebelagen bzw. senkrecht zu deren Wandstärke und/oder um (jeweils) wenigstens das 1,5-fache, vorzugsweise (jeweils) wenigstens das Doppelte, eines, insbesondere maximalen, minimalen oder mittleren, Durchmessers

eines der jeweiligen ersten Unterbrechungsstelle benachbarten bzw. nächstliegenden Faserbündels der jeweiligen ersten Gewebelage.

**[0012]** Hierdurch kann in einer Ausführung vorteilhaft ein besonders stabiler Faserverbundwerkstoff hergestellt werden.

**[0013]** In einer Ausführung weist die erste Gewebelage des Paares bzw. eines oder mehrerer der Paare (jeweils) wenigstens einen ersten Gewebezuschnitt, der wenigstens eine der beiden ersten Kanten aufweist bzw. bildet, und die zweite Gewebelage dieses Paares (jeweils) wenigstens einen zweiten Gewebezuschnitt auf, der wenigstens eine der beiden zweiten Kanten aufweist bzw. bildet, wobei der erste Gewebezuschnitt und/oder der zweite Gewebezuschnitt (jeweils) eine Fläche von wenigstens 100 mm<sup>2</sup>, insbesondere wenigstens 200 mm<sup>2</sup>, und/oder höchstens 1·10<sup>4</sup> mm<sup>2</sup>, insbesondere höchstens 2500 mm<sup>2</sup>, aufweist.

**[0014]** (Erst) durch den Einsatz solcher kleinflächigen Gewebezuschnitte können insbesondere Schaufeln mit kleine(re)n Abmessungen und/oder komplexen Geometrien vorteilhaft, insbesondere prozesssicher und/oder strukturell stabil, hergestellt werden.

**[0015]** Allerdings sind solche kleinflächigen Gewebezuschnitte bei der Herstellung des Faserverbundwerkstoffes schwierig handzuhaben. So besteht etwa ein Gewebezuschnitt von 15 mm × 15 mm bei einem Faserbündeldurchmesser, der im Bereich von 3 mm, liegt, nur aus 5 nebeneinander angeordneten Faserbündeln, die 5 nebeneinander angeordnete Faserbündeln kreuzen, so dass die Randfaserbündel leicht ausfallen können bzw. der Gewebezuschnitt leicht ausfranst bzw. auseinander- bzw. zerfällt.

**[0016]** Daher werden bzw. sind in einer bevorzugten Ausführung die beiden Gewebezuschnitte der ersten und zweiten Gewebelage des bzw. eines oder mehrerer der Paare (jeweils) miteinander vernäht. Sofern mehrere, insbesondere aufeinander angeordnete, Gewebelagen jeweils paarweise ein solches Paar mit der (jeweiligen) ersten Gewebelage mit dem (jeweiligen) ersten Gewebezuschnitt und der (jeweiligen) zweiten Gewebelage mit dem (jeweiligen) zweiten Gewebezuschnitt bilden, werden bzw. sind in einer bevorzugten Ausführung drei oder mehr dieser Gewebezuschnitte bzw. der erste und zweite Gewebezuschnitt von zwei oder mehr der Paar alle, insbesondere gemeinsam, miteinander vernäht.

**[0017]** Hierdurch kann in einer Ausführung die Handhabung bei der Herstellung der Schaufel verbessert, ja bei kleinen Gewebezuschnitten gegebenenfalls erst ermöglicht werden. Entsprechend beruht ein Aspekt der vorliegenden Erfindung auf der Idee, dass durch das Vernähen sowie den Versatz der Unterbre-

chungsstellen auch kleine Gewebezuschnitte unter 1·10<sup>4</sup> mm zur, insbesondere wenigstens teilweise automatisierten, Herstellung von Gasturbinenschaufeln aus keramischem Faserverbundwerkstoff verwendet werden können.

**[0018]** Nach einer Ausführung der vorliegenden Erfindung weist ein Verfahren zum Herstellen, insbesondere Vorformen, einer hier beschriebenen Schaufel die Schritte auf:

- Bereitstellen, insbesondere Zuschneiden des bzw. der ersten und zweiten Gewebezuschnitts/-e, in einer Ausführung mithilfe eines ersten Automaten;

- Anordnen des bzw. der ersten und zweiten Gewebezuschnitts/-e aufeinander derart, dass bei in eine Form, insbesondere Kokille, eingelegter/-n erster/-n und zweiter/-n Gewebelage(n) die zweite(n) Unterbrechungsstelle(n) von der bzw. den ersten Unterbrechungsstelle(n) jeweils, insbesondere um wenigstens das 1,5fache eines Durchmessers eines der (jeweiligen) ersten Unterbrechungsstelle benachbarten Faserbündels der (jeweiligen) ersten Gewebelage, versetzt ist/sind, in einer Ausführung mithilfe des ersten oder eines zweiten Automaten;

- Vernähen des bzw. der ersten und zweiten Gewebezuschnitts/-e miteinander, in einer Ausführung mithilfe des ersten oder zweiten oder eines weiteren Automaten;

- Einlegen, insbesondere manuelles Einlegen, der miteinander vernähten Gewebezuschnitte in die Form; und

- Herstellen, insbesondere Vorformen, des keramischen Faserverbundwerkstoffes mit den in die Form eingelegten, miteinander vernähten Gewebezuschnitten, in einer Ausführung durch Einbetten der miteinander vernähten Gewebezuschnitte in eine(r) bzw. die Matrix.

**[0019]** Durch die Verwendung von, insbesondere demselben, Automaten zum Zuschneiden und/oder Anordnen („Zuschneide- und/oder Legeautomat“) und/oder Automaten zum Vernähen kann die Herstellung vorteilhaft (teil)automatisiert werden. Wird dies mit einem bevorzugten manuellen Einlegen in die Form kombiniert, können vorteilhaft sowohl bei der (Vor)Fixierung der Gewebelagen aufeinander als auch beim Einlegen in die Form eine höhere Präzision realisiert werden.

**[0020]** In einer Ausführung umgreifen die in die Form eingelegten, miteinander vernähten Gewebezuschnitte wenigstens teilweise einen Kern, der in einer Weiterbildung nach dem Herstellen des keramischen Faserverbundwerkstoffes entfernt wird, insbesondere durch Herausziehen, Zerstören und/oder Schrumpfen.

**[0021]** Hierdurch können vorteilhaft Hohlschaufeln mit geringe(re)m Gewicht hergestellt werden.

**[0022]** In einer Ausführung werden die Gewebezuschnitte, insbesondere mithilfe eines Automaten, mit dem Kern vernäht.

**[0023]** Hierdurch kann in einer Ausführung die Handhabung bei der Herstellung und/oder die Festigkeit der Schaufel verbessert werden.

**[0024]** Weitere vorteilhafte Weiterbildungen der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungen. Hierzu zeigt, teilweise schematisiert:

**Fig. 1** die Herstellung einer Schaufel nach einer Ausführung der vorliegenden Erfindung in einem Schnitt senkrecht zu einer Schaufellängsachse;

**Fig. 2** mehrere Gewebelagen bzw. -zuschnitte der Schaufel in einer Draufsicht;

**Fig. 3** die Herstellung der Schaufel in einem Schnitt senkrecht zur **Fig. 1**;

**Fig. 4** eine Draufsicht auf miteinander vernähte Gewebezuschnitte der Schaufel; und

**Fig. 5** einen von den Gewebezuschnitten umgriffenen und mit diesen vernähten Kern.

**[0025]** **Fig. 1** zeigt die Herstellung einer Schaufel nach einer Ausführung der vorliegenden Erfindung in einem Schnitt senkrecht zu einer Schaufellängsachse.

**[0026]** Hierzu werden zunächst Gewebe für einen keramischen Faserverbundwerkstoff durch einen Automaten (nicht dargestellt) zugeschnitten, die Gewebezuschnitte durch denselben Automaten aufeinandergelegt, und anschließend durch diesen oder einen anderen Automaten vernäht.

**[0027]** Hierzu zeigt **Fig. 4** eine Draufsicht auf einen Ausschnitt miteinander vernähter Gewebezuschnitte, in der die Faserbündel **50**, die das Gewebe bzw. dessen Gewebelagen bilden, die Filamente bzw. (Einzel) Fasern **51**, aus denen diese Faserbündel **50** bestehen, sowie die (Fixier)Nähte **60** angedeutet sind. In dem Ausschnitt der **Fig. 4** ist nur eine obere Gewebelage mit einem Gewebezuschnitt **10** zu sehen, in der Draufsicht der **Fig. 2** hingegen drei der aufeinander angeordneten Gewebelagen bzw. -zuschnitte **10, 20, 30** mit den (Fixier)Nähten **60**, mit denen diese miteinander vernäht sind.

**[0028]** Diese miteinander vernähten Gewebelagen bzw. -zuschnitte **10, 20, 30** werden um einen Kern **100** geschlungen und mit diesem mittels (Fixier)Nähten **61** vernäht, wie in **Fig. 5** angedeutet.

**[0029]** Anschließend werden der Kern **100** und die diesen umgreifenden und mit ihm sowie miteinander vernähten Gewebelagen bzw. -zuschnitte **10, 20, 30** in eine Kokille **101, 102** eingelegt und diese geschlossen, wie in **Fig. 1** durch Schließpfeile angedeutet.

**[0030]** In diesem Zustand sind benachbarte Unterbrechungsstellen zwischen Kanten **11, 21, 31, 41** aufeinander angeordneter Gewebelagen bzw. -zuschnitte **10, 20, 30** bzw. **40** senkrecht zur Wandstärke der Gewebelagen von- bzw. gegeneinander versetzt, so dass sich eine Kette von- bzw. gegen- bzw. zueinander versetzter Unterbrechungsstellen zwischen den Kanten **11, 21, 31, 41** ergibt, die in **Fig. 3** hervorgehoben dargestellt ist.

**[0031]** Die Gewebelagen bzw. -zuschnitte werden durch den Zuschneide- und Legeautomaten bereits so aufeinandergelegt (und durch diesen bzw. den anderen Automaten miteinander vernäht), dass in dem in **Fig. 1, Fig. 3** gezeigten Zustand jeweils Paare (**10, 20**), (**20, 30**) bzw. (**30, 40**) aufeinander angeordneter Gewebelagen jeweils eine erste Gewebelage **10, 20** bzw. **30**, die wenigstens eine erste Unterbrechungsstelle zwischen zwei einander zugewandten ersten Kanten **11, 21** bzw. **31** dieser Gewebelage aufweist, und eine zweite Gewebelage **20, 30** bzw. **40** aufweisen, die wenigstens eine der ersten Unterbrechungsstelle benachbarte zweite Unterbrechungsstelle zwischen zwei einander zugewandten zweiten Kanten **21, 31** bzw. **41** der zweiten Gewebelage aufweist, die von der ersten Unterbrechungsstelle (jeweils in derselben Richtung) versetzt ist.

**[0032]** In diesem Zustand wird ein keramischer Faserverbundwerkstoff mit den in die Kokille eingelegten, miteinander vernähten Gewebezuschnitten und dadurch eine Schaufel hergestellt, insbesondere mittels eines Al-, Si- und/oder C-Atome enthaltenden Polymers oder dergleichen.

**[0033]** Anschließend wird die Kokille geöffnet und die Schaufel entnommen, wie durch den Ausziehrichtungspfeil in **Fig. 3** angedeutet. Mittels Pyrolyse oder Brennen kann die CMC-Schaufel dann fertiggestellt werden.

**[0034]** Obwohl in der vorhergehenden Beschreibung exemplarische Ausführungen erläutert wurden, sei darauf hingewiesen, dass eine Vielzahl von Abwandlungen möglich ist. Außerdem sei darauf hingewiesen, dass es sich bei den exemplarischen Ausführungen lediglich um Beispiele handelt, die den Schutzbereich, die Anwendungen und den Aufbau in keiner Weise einschränken sollen. Vielmehr wird dem Fachmann durch die vorausgehende Beschreibung ein Leitfaden für die Umsetzung von mindestens einer exemplarischen Ausführung gegeben, wobei diverse Änderungen, insbesondere in Hinblick auf die Funktion und Anordnung der beschriebenen Bestandteile,

vorgenommen werden können, ohne den Schutzbereich zu verlassen, wie er sich aus den Ansprüchen und diesen äquivalenten Merkmalskombinationen ergibt.

#### Bezugszeichenliste

<b>10, 20, 30, 40</b>	Gewebelage bzw. -zuschnitt
<b>11,21, 31, 41</b>	(Unterbrechungsstelle zwischen) einander zugewandte(n) Kanten
<b>50</b>	Faserbündel
<b>51</b>	Filament; (Einzel)Faser
<b>60,61</b>	(Fixier)Naht
<b>100</b>	Kern
<b>101, 102</b>	Kokille

#### Patentansprüche

1. Schaufel für eine Gasturbine, insbesondere eines Flugtriebwerks, die wenigstens teilweise aus keramischem Faserverbundwerkstoff mit mehreren übereinander angeordneten Gewebelagen (10, 20, 30, 40) hergestellt ist, wobei wenigstens ein Paar aufeinander angeordneter Gewebelagen (10, 20) eine erste Gewebelage (10), die wenigstens eine erste Unterbrechungsstelle zwischen zwei einander zugewandten ersten Kanten (11) dieser Gewebelage aufweist, und eine zweite Gewebelage (20) aufweist, die wenigstens eine der ersten Unterbrechungsstelle (11) benachbarte zweite Unterbrechungsstelle zwischen zwei einander zugewandten zweiten Kanten (21) der zweiten Gewebelage aufweist, die von der ersten Unterbrechungsstelle (11) versetzt ist.

2. Schaufel nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Gewebelage wenigstens einen ersten Gewebezuschnitt (10), der wenigstens eine der beiden ersten Kanten aufweist, die zweite Gewebelage wenigstens einen zweiten Gewebezuschnitt (20), der wenigstens eine der beiden zweiten Kanten aufweist, wobei wenigstens einer der beiden Gewebezuschnitte eine Fläche von wenigstens 100 mm<sup>2</sup> und/oder höchstens 1·10<sup>4</sup> mm<sup>2</sup> aufweist.

3. Schaufel nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet**, dass die beiden Gewebezuschnitte miteinander vernäht sind (60, 61).

4. Schaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zweite Unterbrechungsstelle von der ersten Unterbrechungsstelle um wenigstens das 1,5-fache eines Durchmessers eines der ersten Unterbrechungsstel-

le benachbarten Faserbündels (50) der ersten Gewebelage versetzt ist.

5. Schaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie mit einem Verfahren nach einem der nachfolgenden Ansprüche 7 bis 9 hergestellt ist.

6. Turbinen- oder Verdichterstufe für eine Gasturbine mit wenigstens einer Schaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

7. Verfahren zum Herstellen einer Schaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit den Schritten:

- Bereitstellen, insbesondere Zuschneiden des ersten und zweiten Gewebezuschnitts (10, 20), insbesondere mithilfe eines ersten Automaten;

- Anordnen des ersten und zweiten Gewebezuschnitts aufeinander derart, dass bei in eine Form (101, 102) eingelegter erster und zweiter Gewebelage die zweite Unterbrechungsstelle (21) von der ersten Unterbrechungsstelle (11), insbesondere um wenigstens das 1,5fache eines Durchmessers eines der ersten Unterbrechungsstelle benachbarten Faserbündels (50) der ersten Gewebelage, versetzt ist, insbesondere mithilfe des ersten oder eines zweiten Automaten;

- Vernähen (60, 61) des ersten und zweiten Gewebezuschnitts miteinander, insbesondere mithilfe des ersten oder zweiten oder eines weiteren Automaten;

- Einlegen, insbesondere manuelles Einlegen, der miteinander vernähten Gewebezuschnitte in die Form; und

- Herstellen des keramischem Faserverbundwerkstoffes mit den in die Form eingelegten, miteinander vernähten Gewebezuschnitten.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die in die Form eingelegten, miteinander vernähten Gewebezuschnitte wenigstens teilweise einen Kern (100) umgreifen.

9. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Gewebezuschnitte, insbesondere mithilfe eines Automaten, mit dem Kern vernäht werden (61).

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

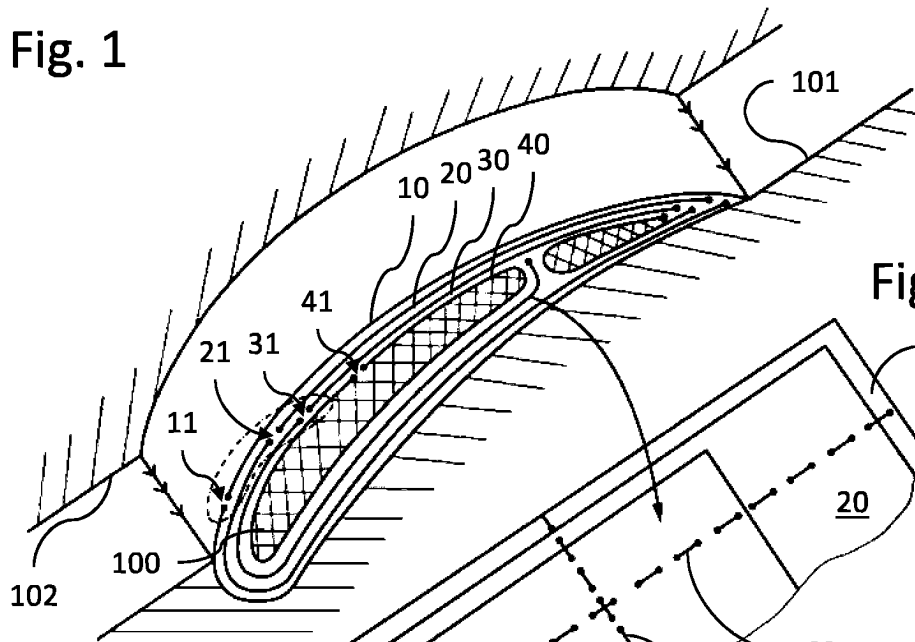


Fig. 2

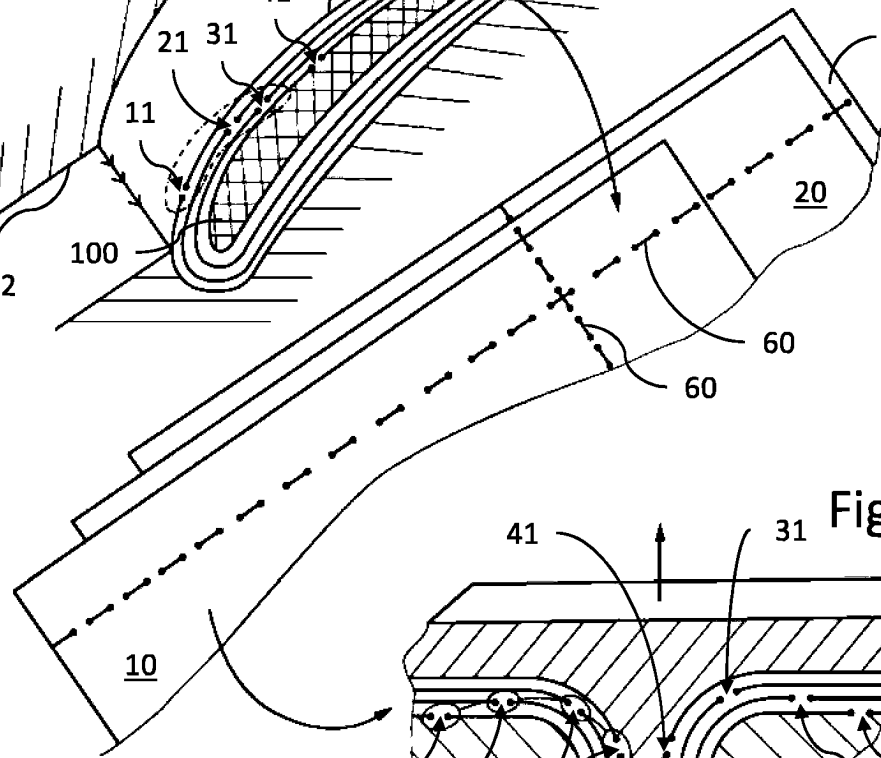


Fig. 3

