



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
06.12.2023 Patentblatt 2023/49

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F01D 17/16^(2006.01) F01D 17/20^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **23173740.4**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
**F01D 17/162; F01D 17/20; F05D 2230/60;
F05D 2230/70; F05D 2250/90; F05D 2260/36;
F05D 2260/37; F05D 2260/50**

(22) Anmeldetag: **16.05.2023**

(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: **MTU Aero Engines AG**
80995 München (DE)

(72) Erfinder: **Rauschmeier, Alexander**
80995 München (DE)

(30) Priorität: **03.06.2022 DE 102022114072**

(54) **LEITSCHAUFELVORRICHTUNG, MONTAGEWERKZEUG, SOWIE STRÖMUNGSMASCHINE UND VERFAHREN ZUM VERBINDEN UND LÖSEN DER LEITSCHAUFELVORRICHTUNG**

(57) Die Erfindung betrifft eine Leitschaufelvorrichtung (1) für eine Leitschaufelverstellung einer Strömungsmaschine (100), aufweisend eine Leitschaufel (2), welche einen sich entlang einer Verstellachse (A) der Leitschaufel (2) erstreckenden Schaft (4) aufweist, sowie einen Verstellhebel (3), welcher ein Verbindungselement (5) zum Verbinden mit einem äußeren Ende (6) des Schaftes (5) ausbildet, wobei der Schaft (4) an dessen äußerem Ende (6) eine dreidimensionale Stirnfläche (7) mit zumindest einem abgeschrägten Bereich (8) aufweist, das Verbindungselement (5) zumindest abschnittsweise das äußere Ende (6) des Schaftes (4) hülsenartig umschließt und mit dem äußeren Ende (6) formschlüssig verbunden ist, sowie die Leitschaufelvorrichtung (1) eine Übermaßpassung (10) zwischen dem Verbindungselement (5) und dem äußeren Ende (6) des Schaftes (4) ausbildet.

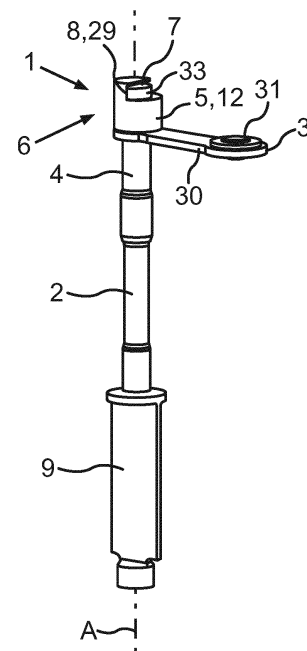


Fig.1

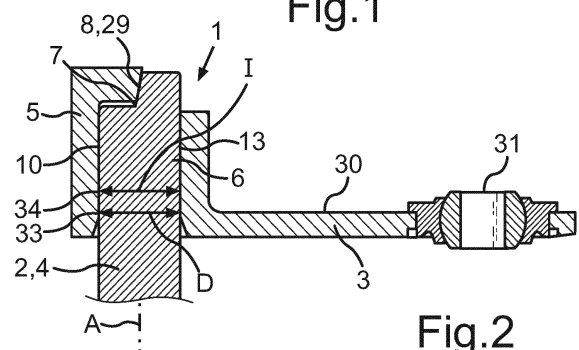


Fig.2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Leitschaufelvorrichtung für eine Leitschaufelverstellung einer Strömungsmaschine gemäß den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1, ein Montagewerkzeug gemäß den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 5, ein Verfahren zum drehfesten Verbinden einer Leitschaufel mit einem Verstellhebel gemäß den Merkmalen des Oberbegriffs nach Anspruch 8, ein Verfahren zum Lösen einer drehfesten Verbindung einer Leitschaufelvorrichtung gemäß den Merkmalen des Oberbegriffs nach Anspruch 10, sowie eine Strömungsmaschine, insbesondere Fluggasturbine, gemäß den Merkmalen des Oberbegriffs nach Anspruch 11.

[0002] Verdichter in axialen Strömungsmaschinen, beispielsweise in Fluggasturbinen, umfassen in der Regel im Bereich der vorderen Verdichterstufen oder im Hochdruckverdichter eine Leitschaufelverstellung. Durch die Leitschaufelverstellung werden die Leitschaufeln der relevanten Leitschaufelreihe drehzahlabhängig um ihre Verstellachse verstellt, sodass ein Winkel eines Schaufelblattes der Leitschaufel zu einer Strömungsrichtung veränderbar ist. Hierdurch kann ein Strömungsabriss beim Hochfahren der Strömungsmaschine bzw. bei geringen Drehzahlen verhindert werden. Eine Stufenbelastung wird somit reduziert. Alternativ könnte auch ein Strömungsabriss durch eine Verstellung der Laufschaufeln der Verdichterstufen verwirklicht werden, jedoch ist dies technisch wesentlich aufwändiger, so dass sich die Verstellung der Leitschaufeln durchgesetzt hat.

[0003] Die Verstellung der Leitschaufeln einer Leitschaufelreihe erfolgt herkömmlicherweise mechanisch durch Betätigung eines Stellantriebs. Der Stellantrieb wirkt in der Regel über einen Verstellring und jeweils mittels eines Verstellhebels auf die Leitschaufeln.

[0004] Die Anbindung der Verstellhebel an die Leitschaufel wird in der Regel durch eine Schraubverbindung umgesetzt, wobei ein äußeres Ende des Leitschaufelschaftes ein Gewinde aufweist. Zunächst wird zwischen dem Verstellhebel und der Leitschaufel ein Formschluss erzeugt, der dann durch eine Schraubmutter durch Aufschrauben auf das Gewinde gesichert wird. Um eine genaue Verstellung während des Betriebes gewährleisten zu können, ist es wichtig, dass der Verstellhebel zu allen Betriebsbedingungen in einer genau definierten Position zum Schaufelblatt bzw. zur Tragflächengeometrie der Leitschaufel steht. Die Verbindung darf auch bei maximalen Belastungen, wie beispielsweise einem Verdichterpumpen, Schwingungen, oder einem erhöhten Drehmoment, etc., nicht nachlassen.

[0005] Der Nachteil an einer solchen Anbindung ist, dass durch die geringe Baugröße des Schaftes der Leitschaufel nur kleine Schaft- und Gewindedurchmesser möglich sind. Dies führt zu relativ aufwendigen Geometrien und engen Toleranzen des Hebels und der Leitschaufel. Zusätzlich muss die Schraubmutter mit einem zusätzlichen Element gegen Verdrehen gesichert werden.

den. Ebenso nachteilig wird durch den Kerbfaktor des Gewindes eine Schwächung des Schaufelschafts erzeugt.

[0006] Zudem benötigt die Montage, insbesondere das Aufschrauben der Schraubmutter mit einem definierten Drehmoment, und die Demontage bei einer Vielzahl von Leitschaufeln viel Zeit und ist daher besonders aufwendig. Die Schraubmuttern bringen darüber hinaus ein gewisses Gewicht mit sich, sodass ein Leistungsgewicht der Strömungsmaschine nachteilig erhöht wird.

[0007] Es ist somit Aufgabe der Erfindung, eine Verbindung zwischen einer Leitschaufel und einem Verstellhebel bereitzustellen, die die genannten Nachteile überwindet.

[0008] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Leitschaufelvorrichtung gemäß den Merkmalen des Anspruchs 1, ein Montagewerkzeug gemäß den Merkmalen des Anspruchs 5, ein Verfahren zum Verbinden gemäß den Merkmalen des Anspruchs 8, ein Verfahren zum Lösen gemäß den Merkmalen des Anspruchs 10, sowie eine Strömungsmaschine gemäß den Merkmalen des Anspruchs 11 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen mit zweckmäßigen Weiterbildungen der Erfindung sind in den jeweiligen Unteransprüchen angegeben, wobei vorteilhafte Ausgestaltungen jedes Erfindungsaspekts als vorteilhafte Ausgestaltungen der jeweils anderen Erfindungsaspekte anzusehen sind.

[0009] Durch die Erfindung ist eine Leitschaufelvorrichtung für eine Leitschaufelverstellung einer Strömungsmaschine bereitgestellt. Die Leitschaufelvorrichtung umfasst eine Leitschaufel, welche einen sich entlang einer Verstellachse der Leitschaufel erstreckenden Schaft aufweist, sowie einen Verstellhebel, welcher ein Verbindungselement zum Verbinden mit einem äußeren Ende des Schaftes ausbildet. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass

- der Schaft an dessen äußerem Ende einen Positionierungsabschnitt aufweist, der dazu eingerichtet ist, den eine definierte Positionierung bzw. Einbaurichtung des Hebels am Schaft vorzugeben. Bevorzugt kann dieser Positionierungsabschnitt als dreidimensionale Stirnfläche ausgebildet sein, insbesondere mit zumindest einem abgeschrägten Bereich
- das Verbindungselement zumindest abschnittsweise das äußere Ende des Schaftes hülsenartig umschließt und mit dem äußeren Ende formschlüssig verbunden ist,
- die Leitschaufelvorrichtung eine Übermaßpassung zwischen dem Verbindungselement und dem äußeren Ende des Schaftes ausbildet.

[0010] Die Verstellachse ist insbesondere diejenige Achse, um welche die Leitschaufel und insbesondere ein Schaufelblatt in einen Anströmwinkel zu einer Strömungsrichtung der Strömungsmaschine mittels des Verstellhebels verstellbar bzw. drehbar ist. Die Verstellachse kann insbesondere coaxial zu einer Höhenachse der

Leitschaukel sein, in welche sich die Leitschaukel bzw. der Schaft der Leitschaukel im Wesentlichen erstreckt.

[0011] Das Verbindungselement ist insbesondere an einem distalen Ende des Verstellhebels ausgebildet. Vorzugsweise kann der Verstellhebel einstückig ausgebildet sein und das Verbindungselement, sowie einen Hebelarm und eine Hebelanbindung umfassen.

[0012] Unter dem äußeren Ende des Schaftes ist insbesondere das radial äußere Ende des Schaftes zu verstehen. Das radial äußere Ende ist das Ende des Schaftes und insbesondere der Leitschaukel, welches von einer Rotorwelle der Strömungsmaschine abgewandt ist. Am radial inneren Ende der Leitschaukel befindet sich das Schaufelblatt. Unter dem äußeren Ende kann insbesondere nicht lediglich eine Stirnfläche des Schaftes verstanden werden, sondern vielmehr auch ein Endbereich bzw. Endkörper des Schaftes.

[0013] Unter einer dreidimensionalen Stirnfläche ist insbesondere zu verstehen, dass sich die Stirnfläche sich nicht lediglich in einer Ebene erstreckt. Vielmehr kann die Stirnfläche Flächen in unterschiedlichen Ebenen aufweisen, die insbesondere zueinander schräg und/oder versetzt sind.

[0014] Der abgeschrägte Bereich ist insbesondere schräg zu einer virtuellen Ebene, die orthogonal zur Verstellachse gerichtet ist, im Folgenden auch Orthogonalebene genannt, und/oder schräg zu einer Ebene, die parallel zur Verstellachse gerichtet ist.

[0015] Das äußere Ende des Schaftes wird durch das Verbindungselement hülsenartig umschlossen. Mit anderen Worten kann das Verbindungselement im Wesentlichen hülsenartig ausgebildet sein kann, bzw. hutartig oder kappenartig. Dies bedeutet, dass sich das äußere Ende zumindest teilweise in einem Inneren des Verbindungselementes befindet und sich Oberflächen des äußeren Endes zumindest abschnittsweise im anliegenden Kontakt mit Innenflächen des Verbindungselements stehen.

[0016] Des Weiteren ist das Verbindungselement mit dem äußeren Ende formschlüssig verbunden. Insbesondere kann das Verbindungselement mit dem abgeschrägten Bereich formschlüssig, und insbesondere damit drehfest, verbunden sein, sowie insbesondere mit den weiteren Oberflächen des äußeren Endes. Dies hat insbesondere zur Folge, dass eine Rotation des Verbindungselementes um die Höhenachse in Relation zum Schaft unterbunden ist. Des Weiteren kann das Verbindungselement durch die formschlüssige Verbindung mit dem abgeschrägten Bereich an der Stirnfläche daran gehindert werden, in Richtung des radial inneren Endes des Schaftes zu rutschen. Somit ist das Verbindungselement entlang der Verstellachse und in Richtung des radial inneren Endes mit dem Schaft fest verbunden.

[0017] Darüber hinaus wird zwischen dem Verbindungselement und dem äußeren Ende des Schaftes eine Übermaßpassung ausgebildet, die auch als Presspassung bezeichnet werden kann.

[0018] Durch die Erfindung ergeben sich zahlreiche

Vorteile. Zum einen ergibt sich der Vorteil, dass die Leitschaukel effektiv mit dem Verstellhebel verbunden ist, sodass eine Bewegung des Verstellhebels entlang und um die Verstellachse in Relation zur Leitschaukel unterbunden ist. Folglich wirkt sich eine Drehung des Verstellhebels um die Verstellachse in eine äußerst exakte Drehung der Leitschaukel aus. Dies ist insbesondere für eine Verstellung der Leitschaukel mittels des Verstellhebels, die äußerst präzise erfolgen muss, besonders vorteilhaft.

[0019] Zweitens ermöglicht die Erfindung vorteilhaft, dass zur Anbindung des Verstellhebels an die Leitschaukel kein Gewinde im Schaft notwendig ist, die den Schaft schwächen würde. Folglich kann mittels des Schaftes ein größeres Drehmoment übertragen werden bzw. der Schaft mit einem geringeren Durchmesser bereitgestellt werden. Durch eine ermöglichte kleinere Dimensionierung des Schaftes kann somit insbesondere Material, Kosten und Bauraum in der Strömungsmaschine eingespart werden. Ebenso wird durch die Erfindung die Schraubmutter eingespart, was zusätzliche Kosten- und Gewichtsvorteile erbringt.

[0020] Drittens ist die Verbindung zwischen der Leitschaukel und dem Verstellhebel vorteilhaft besonders einfach ausgestaltet. Dadurch ist eine Montage und Demontage sehr leicht möglich, sodass hierbei Montagezeit und damit Kosten eingespart werden können.

[0021] Die Erfindung umfasst auch Weiterbildungen, durch die sich weitere Vorteile ergeben.

[0022] Eine Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass das Verbindungselement ein Hohlkörper ist, der in seinem Inneren komplementär zum äußeren Ende des Schaftes ausgebildet ist. Insbesondere kann der Hohlkörper in seinem Inneren eine Innenwandfläche aufweisen, die komplementär zur Mantelfläche des äußeren Endes ausgebildet sein kann. Insbesondere sind diese Flächen zylindrisch ausgebildet. Vorzugsweise kann der Hohlkörper eine Fläche aufweisen, die komplementär zum abgeschrägten Bereich ausgebildet ist, wobei sich diese Fläche und der abgeschrägte Bereich flächig kontaktieren, sodass insbesondere ein Formschluss ausgebildet sein kann, der eine relative Rotation zwischen der Leitschaukel und dem Verstellhebel um die Verstellachse unterbindet.

[0023] Eine Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass ein Innendurchmesser des Verbindungselementes in einem nichtmontierten Zustand kleiner ist als ein Durchmesser des Schaftes am äußeren Ende. Vorzugsweise ist in dem nichtmontierten Zustand der Innendurchmesser des Verbindungselementes, insbesondere das höchste tolerierte Maß des Innendurchmessers kleiner als der Durchmesser des Schaftes, insbesondere ein Mindestmaß des Durchmessers des hülsenartig umschlossenen Endes des Schaftes. Durch die Übermaßpassung ist sichergestellt, dass eine feste Verbindung zwischen der Leitschaukel und dem Verstellhebel hergestellt ist, sodass eine Bewegung entlang und um alle Raumachsen, insbesondere entlang und um die Verstellachse unterbunden ist. Hierdurch ergibt sich der

Vorteil, dass eine besonders feste Verbindung zwischen Verstellhebel und Leitschaukel gegeben ist, sodass eine äußerst präzise Verstellung möglich ist.

[0024] Eine Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass das Verbindungselement magnetisches Metall enthält. Vorzugsweise enthält der Verstellhebel magnetisches Metall. Vorzugsweise besteht das Verbindungselement bzw. der Verstellhebel aus magnetischem Metall. Hierdurch ergibt sich der Vorteil, dass das Verbindungselement induktiv aufheizbar ist. Weitere Merkmale und deren Vorteile des ersten Aspekts der Erfindung sind den Beschreibungen des zweiten bis fünften Erfindungsaspekts zu entnehmen.

[0025] Ein zweiter Aspekt der Erfindung betrifft ein Montagewerkzeug zum drehfesten Verbinden einer vorgegebenen Leitschaukel mit einem vorgegebenen Verstellhebel einer Leitschaukelverstellung einer Strömungsmaschine, wobei der Verstellhebel ein Verbindungselement zum Verbinden mit der Leitschaukel ausbildet. Erfindungsgemäß umfasst das Montagewerkzeug eine Aufheizvorrichtung zum Aufheizen des Verbindungselementes, wobei die Aufheizvorrichtung ringförmig um das Verbindungselement positionierbar ist.

[0026] Eine Aufheizvorrichtung kann insbesondere elektrisch betrieben sein. Insbesondere kann die Aufheizvorrichtung elektrische Energie in thermische Energie umwandeln. Beispielsweise umfasst die Aufheizvorrichtung einen Heizwiderstand, wobei die Aufheizvorrichtung als Widerstandsheizung ausgebildet ist. Das Montagewerkzeug kann bevorzugt händisch von einem Monteur bedient werden und/oder von einer Maschine.

[0027] Insbesondere ist die Aufheizvorrichtung ringförmig, wobei eine Ringöffnung einer Ringform ober- und unterseitig oder lediglich unterseitig geöffnet sein kann. Die Ringöffnung kann insbesondere komplementär zum Verbindungselement ausgebildet sein, sodass das Verbindungselement innerhalb der Ringöffnung positionierbar sein kann und mit dem Verbindungselement beispielsweise eine Spielpassung ausbilden kann. Ringförmig positionierbar bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die ringförmige Aufheizvorrichtung innerhalb der Ringöffnung die Aufheizvorrichtung aufnehmen kann. Dies hat den Vorteil, dass besonders effektiv thermische Energie vom Aufheizelement zu dem Verbindungselement übertragen werden kann.

[0028] Eine Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass die Aufheizvorrichtung eine Induktionsspule aufweist. Insbesondere ist die Induktionsspule ringförmig um die Ringöffnung der Aufheizvorrichtung gewickelt. Dies hat den Vorteil, dass das Aufheizelement besonders effektiv aufgeheizt werden kann, indem durch die Induktionsspule im Verbindungselement elektrischer Strom induziert wird, der im Verbindungselement fließt und dadurch Wärme erzeugt. Ein weiterer Vorteil ist, dass sich die Aufheizvorrichtung nicht unnötig selbst aufheizt, sodass ein sicherer Umgang mit der Aufheizvorrichtung gewährleistet ist.

[0029] Die Induktionsspule kann besonders vorteilhaft

sein, wenn das Verbindungselement ferromagnetische Eigenschaften besitzt, beispielsweise, weil es magnetisches Material enthält bzw. daraus besteht. Gerade bei einer Demontage des Verbindungselements kann es vorteilhaft sein, wenn das montierte Verbindungselement eine höhere magnetische Leitfähigkeit aufweist als das äußere Ende des Schaftes, sodass das Verbindungselement zügiger aufheizbar ist.

[0030] Eine Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass das Montagewerkzeug eine Haltevorrichtung zum Halten des Verstellhebels umfasst. Die Haltevorrichtung kann den Verstellhebel insbesondere greifen oder magnetisch bzw. elektromagnetisch halten. Des Weiteren kann die Haltevorrichtung den Verstellhebel wieder freigeben und sich von diesem lösen. Beispielsweise umfasst die Haltevorrichtung ein Greifer oder einen Elektromagneten.

[0031] Hierdurch ergibt sich der Vorteil, dass mittels des Montagewerkzeuges der Verstellhebel, insbesondere das Verbindungselement des Verstellhebels gehalten und erhitzt werden kann, sodass kein weiteres Werkzeug bzw. ein händisches Halten notwendig sind. Somit kann ein Montageprozess zum Herstellen der Verbindung vereinfacht werden. Weitere Merkmale und deren Vorteile des zweiten Aspekts der Erfindung sind den Beschreibungen des ersten, sowie dritten bis fünften Erfindungsaspekts zu entnehmen.

[0032] Ein dritter Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zum drehfesten Verbinden einer Leitschaukel mit einem Verstellhebel einer Leitschaukelverstellung einer Strömungsmaschine mittels eines Montagewerkzeuges nach einem der Ansprüche 5 bis 7, umfassend die Schritte:

- Ringförmiges Positionieren der Aufheizvorrichtung um das Verbindungselement;
- Aufheizen des Verbindungselementes mittels der Aufheizvorrichtung, sodass sich ein Innendurchmesser des Verbindungselementes aufweitet;
- Hülsenartiges Aufstecken des Verbindungselementes auf ein äußeres Ende eines Schaftes der Leitschaukel, wobei der aufgeweitete Innendurchmesser des Verbindungselementes größer ist als ein Durchmesser des Schaftes am äußeren Ende;
- Abnehmen der Aufheizvorrichtung von dem Verbindungselement, sodass sich das Verbindungselement abkühlt und auf das äußere Ende des Schaftes aufschumpft.

[0033] Insbesondere kann das Verbindungselement samt des ringförmig um das Verbindungselement positionierten Montagewerkzeuges hülsenartig auf das äußere Ende aufgesteckt werden. Beim Aufschumpfen verengt sich der Innendurchmesser des Verbindungselementes auf den Durchmesser des Schaftes, sodass eine Übermaßpassung ausgebildet wird.

[0034] Vorzugsweise ist der Innendurchmesser, der nicht durch das Aufheizen aufgeweitet ist, insbesondere

das höchste tolerierte Maß des Innendurchmessers, kleiner als der Durchmesser des Schaftes, insbesondere ein Mindestmaß des Durchmessers des äußeren Endes des Schaftes.

[0035] Insbesondere kann durch das technische Verfahren das Verbindungselement auf den Schaft aufgeschumpft werden, sodass eine kraftschlüssige Verbindung entsteht. Hierbei wird die Eigenschaft ausgenutzt, dass sich Stoffe, besonders Legierungen, mit zunehmender Wärme ausdehnen. Bei diesem Verfahren werden die miteinander zu verbindenden Teile mit einer Übermaßpassung gefertigt. Beide Teile können bei Normaltemperatur nicht oder nur unter großer Krafteinwirkung miteinander verbunden werden. Wird jedoch das äußere Teil, das Verbindungselement, vorher erhitzt, was zur Ausdehnung führt, und anschließend schnell auf das zu umschließende Element, das äußere Ende des Schaftes, gezogen, schrumpft es beim Erkalten wieder und presst sich so dem inneren Teil auf und bleibt mit diesem verbunden.

[0036] Vorzugsweise wird die kraftschlüssige Verbindung zwischen dem Verbindungselement und dem Schaft durch eine zumindest abschnittsweise formschlüssige Verbindung zwischen dem Verbindungselement und dem äußeren Ende des Schaftes unterstützt.

[0037] Der Vorteil an diesem Verfahren ist, dass dieses mit wenigen und mit besonders einfachen Schritten durchführbar ist. Dadurch wird die Montagezeit je Leitschaufel reduziert, sodass eine Montagezeit für eine Vielzahl von Leitschaufeln in einer Strömungsmaschine erheblich reduziert wird.

[0038] Eine Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass das äußere Ende eine dreidimensionale Stirnfläche mit zumindest einem abgeschrägten Bereich aufweist, wobei das Verbindungselement formschlüssig auf das äußere Ende aufgesteckt wird.

[0039] Mittels dieser formschlüssigen Verbindung kann vorteilhaft sichergestellt werden, dass der Verstellhebel in einer genau definierten Position bzw. einem genau definierten Winkel zur Leitschaufel, insbesondere zum Schaufelblatt steht. Weitere Merkmale und deren Vorteile des dritten Aspekts der Erfindung sind den Beschreibungen des ersten, zweiten sowie vierten und fünften Erfindungsaspekts zu entnehmen.

[0040] Ein vierter Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zum Lösen einer drehfesten Verbindung zwischen einer Leitschaufel und einem Verstellhebel einer Leitschaufelverstellung einer Strömungsmaschine mittels eines Montagewerkzeuges nach einem der Ansprüche 5 bis 7, wobei das Verbindungselement hülsenartig auf ein äußeres Ende eines Schaftes der Leitschaufel aufgeschumpft ist, umfassend die Schritte:

- Ringförmiges Positionieren der Aufheizvorrichtung um das Verbindungselement;
- Aufheizen des Verbindungselementes mittels der Aufheizvorrichtung, sodass sich ein Innendurchmesser des Verbindungselementes aufweitet;

- Abheben des Verbindungselementes vom äußeren Ende des Schaftes.

[0041] Beim Positionieren kann der Verstellhebel insbesondere von der Haltevorrichtung des Montagewerkzeuges gehalten werden. Durch das Aufweiten wird insbesondere die kraftschlüssige Verbindung zwischen dem Verbindungselement und dem Schaft gelöst. Im Anschluss an das Verfahren kann das Verbindungselement aus der Aufheizrichtung entnommen werden, insbesondere durch das Lösen des Verstellhebels von der Haltevorrichtung.

[0042] Der Vorteil dieses Demontageverfahrens ist, dass dieses besonders einfach durchgeführt werden kann. Weitere Merkmale und deren Vorteile des vierten Aspekts der Erfindung sind den Beschreibungen des ersten bis dritten, sowie des fünften Erfindungsaspekts zu entnehmen.

[0043] Ein fünfter Aspekt der Erfindung betrifft eine Strömungsmaschine, aufweisend eine Leitschaufelvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4. Weitere Merkmale und deren Vorteile des fünften Aspekts der Erfindung sind den Beschreibungen des ersten bis vierten Erfindungsaspekts zu entnehmen.

[0044] Weitere Merkmale der Erfindung ergeben sich aus den Ansprüchen, den Figuren und der Figurenbeschreibung. Die vorstehend in der Beschreibung genannten Merkmale und Merkmalskombinationen, sowie die nachfolgend in der Figurenbeschreibung genannten und/oder in den Figuren alleine gezeigten Merkmale und Merkmalskombinationen sind nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen verwendbar, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen. Es sind somit auch Ausführungen von der Erfindung als umfasst und offenbart anzusehen, die in den Figuren nicht explizit gezeigt und erläutert sind, jedoch durch separierte Merkmalskombinationen aus den erläuterten Ausführungen hervorgehen und erzeugbar sind. Es sind auch Ausführungen und Merkmalskombinationen als offenbart anzusehen, die somit nicht alle Merkmale eines ursprünglich formulierten unabhängigen Anspruchs aufweisen. Es sind darüber hinaus Ausführungen und Merkmalskombinationen, insbesondere durch die oben dargelegten Ausführungen, als offenbart anzusehen, die über die in den Rückbezügen der Ansprüche dargelegten Merkmalskombinationen hinausgehen oder von diesen abweichen. Dabei zeigt:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Leitschaufelvorrichtung;

Fig. 2 eine Schnittdarstellung an einem äußeren Ende eines Schaftes einer Leitschaufel;

Fig. 3 eine Schnittdarstellung eines Montagewerkzeuges mit einem Verstellhebel;

Fig. 4 eine Schnittdarstellung eines nichtmontierten

Verstellhebels;

Fig. 5 eine Schnittdarstellung eines aufgesteckten Verbindungselementes auf den Schaft;

Fig. 6 eine schematische Darstellung eines Montagewerkzeuges an einer Strömungsmaschine;

Fig. 7 ein abgenommenes Montagewerkzeug von dem Verbindungselement;

Fig. 8 eine schematische Darstellung einer montierten Leitschaukelvorrichtung einer Leitschaukelverstellung einer Strömungsmaschine;

Fig. 9 eine Schnittdarstellung eines nichtpositionierten Montagewerkzeuges;

Fig. 10 eine Schnittdarstellung eines positionierten Montagewerkzeuges;

Fig. 11 eine Schnittdarstellung eines demontierten Verstellhebels;

Fig. 12 ein schematisches Ablaufdiagramm eines Montageverfahrens;

Fig. 13 ein schematisches Ablaufdiagramm eines Demontageverfahrens.

[0045] FIG. 1 zeigt beispielhaft eine schematische Darstellung einer Leitschaukelvorrichtung 1 in einem montierten Zustand. Die Leitschaukelvorrichtung 1 umfasst eine Leitschaukel 2 und einen Verstellhebel 3. Die Leitschaukel 2 kann einstückig ausgebildet sein und erstreckt sich im Wesentlichen entlang einer Verstellachse A, die auch die Hochachse der Leitschaukel darstellt. Die Leitschaukel 2 weist einen Schaft 4 auf. An einem radial inneren Ende des Schaftes 4 der Leitschaukel 2 kann sich das Schaufelblatt 9 befinden. An einem radial äußeren Ende 6 des Schaftes 4 kann der Verstellhebel 3 angeordnet werden.

[0046] Der Verstellhebel 3 kann im Ausführungsbeispiel einstückig ausgebildet sein und einen Hebelarm 30 aufweisen. An einem Ende des Hebelarmes 30 kann eine Hebelanbindung 31 zum Anbinden an weitere Komponenten einer Leitschaukelverstellung angeordnet sein. Am anderen Ende des Hebelarmes 30 des Verstellhebels 3 ist ein Verbindungselement 5 des Verstellhebels 3 angeordnet, der als Hohlkörper 12 ausgebildet sein kann.

[0047] Das Verbindungselement 5 umschließt zumindest teilweise das äußere Ende 6 des Schaftes 4 und kann beispielsweise mit einer abgeschrägten Fläche 29 an einem abgeschrägten Bereich 8 einer dreidimensionalen Stirnfläche 7 des äußeren Endes 6 anliegen.

[0048] Im gezeigten Beispiel ist ein Teil des äußeren Endes 6 nicht durch das Verbindungselement 5 um-

schlossen, sodass das äußere Ende 6, insbesondere ein Teil einer Mantelfläche 33 und ein Teil der dreidimensionalen Stirnfläche 7, freiliegt. Es kann jedoch auch sein, dass das Verbindungselement 5 das äußere Ende vollständig umschließt.

[0049] In **FIG. 2** ist eine Schnittdarstellung durch das äußere Ende 6 des Schaftes 4 der Leitschaukel 2 gezeigt, wobei der Schnitt mittig durch den Schaft 4 verläuft. Eine Innenwandfläche 34 im Inneren 13 des Verbindungselementes 2 kann beispielsweise eine Mantelfläche 33 des Schaftes 4 am äußeren Ende 6 flächig anschließen, sodass das Verbindungselement 5 das äußere Ende 6 hülsenartig umschließt. Beispielsweise bilden das Verbindungselement 5 und der Schaft 4, insbesondere zwischen der Mantelfläche 33 und der Innenwandfläche 34, eine Übermaßpassung 10 aus. Weiterhin liegt beispielsweise eine abgeschrägte Fläche 29 des Verbindungselementes 5 am komplementär ausgebildeten, abgeschrägten Bereich 8 der dreidimensionalen Stirnfläche 7 des äußeren Endes 6 an.

[0050] In einem in Fig. 2 gezeigten montierten bzw. aufgeschrumpften Zustand entspricht ein Innendurchmesser I des Verbindungselementes 5 dem Durchmesser D des Schaftes 4 am äußeren Ende 6. Zumindest zwischen dem abgeschrägten Bereich 8 des Schaftes 4 und dem abgeschrägten Bereich 29 des Verbindungselementes 5 kann gemäß diesem Ausführungsbeispiel eine formschlüssige Verbindung, und zwischen der Mantelfläche 33 und der Innenwandfläche eine kraftschlüssige Verbindung in Form einer Übermaßpassung 10 hergestellt sein.

[0051] FIG. 3 zeigt eine Schnittdarstellung eines Montagewerkzeuges 11 mit dem Verstellhebel 3. Das Montagewerkzeug 11, insbesondere eine Aufheizvorrichtung 14 ist in diesem Ausführungsbeispiel ringförmig um das Verbindungselement 5 positioniert. Die Aufheizvorrichtung 14 kann beispielsweise als Induktionsspule 15 ausgebildet sein.

[0052] Das Montagewerkzeug 11 weist beispielsweise ein Gehäuse 16 auf, in der die Aufheizvorrichtung 14 integriert sein kann. Das Gehäuse 16 ist insbesondere ringförmig und weist wiederum eine Ringöffnung 17 auf. Die Ringöffnung 17 ist vorzugsweise komplementär zum Verbindungselement 5 ausgebildet und kann dieses, beispielsweise unter Ausbildung einer formschlüssigen Spielpassung, in der Ringöffnung 17 aufnehmen.

[0053] In **FIG. 4** ist eine Schnittdarstellung eines nichtmontierten Verstellhebels 3 gezeigt. Insbesondere ist das Verbindungselement 5 durch die Aufheizvorrichtung 14, welche das Verbindungselement 5 ringförmig umschließt, ausgeheizt. Dies wird in der Fig. 4 durch den aufgeweiteten Innendurchmesser I des Verbindungselementes 5 dargestellt. Dieser ist im aufgeweiteten Zustand zumindest geringfügig größer als der Durchmesser D des Schaftes 4 am äußeren Ende 6.

[0054] Das äußere Ende 6 des Schaftes ragt aus einer Öffnung einer Strömungsmaschine 100 heraus und bildet die dreidimensionale Stirnfläche 7 mit dem zumindest

einen abgeschrägten Bereich 8 aus. Der im Wesentlichen senkrecht verlaufende Pfeil symbolisiert, wie das Montagewerkzeug 11 mit Verbindungselement auf das äußere Ende 6 aufgesteckt werden kann. Insbesondere wird beim Aufstecken eine formschlüssige Verbindung zwischen dem Schaft 4 und dem Verstellhebel 3 hergestellt.

[0055] FIG. 5 zeigt eine Schnittdarstellung des aufgesteckten Verbindungselementes 5 und des Montagewerkzeuges 11 auf den Schaft 4. Im aufgeheizten Zustand des Verbindungselementes 5 kann dieses insbesondere leichtgängig ausgesteckt werden und sich mit dem äußeren Ende 6 formschlüssig verbinden lassen. Durch die formschlüssige Verbindung zwischen den abgeschrägten Bereichen 8, 29 kann insbesondere eine definierte Position des Verstellhebels 3 zu einer Tragflächengeometrie des Schaufelblattes 9 gewährleistet werden.

[0056] In FIG. 6 ist eine schematische Darstellung eines Montagewerkzeuges 11 an einer Strömungsmaschine 100 gezeigt. Das Gehäuse 16 bzw. ein Teil des Gehäuses 16 kann insbesondere zylindrisch ausgebildet sein und händisch bzw. durch eine Maschine bedienbar sein.

[0057] FIG. 7 zeigt ein abgenommenes Montagewerkzeug 11 von dem Verbindungselement 5 in der durch den im Wesentlichen senkrecht nach oben gerichteten Pfeil symbolisierten Richtung. Durch das Abnehmen des Montagewerkzeuges 11 vom Verbindungselement 5 kann das Verbindungselement 5 auskühlen, sodass der Innendurchmesser I sich wieder verkleinert und das Verbindungselement 5 auf den Schaft 4 ausgeschrunpft wird.

[0058] In FIG. 8 ist eine schematische Darstellung einer montierten Leitschaukelvorrichtung 1 einer Leitschaukelverstellung einer Strömungsmaschine 100 gezeigt. Insbesondere sind eine Reihe von montierten Leitschaukelvorrichtungen 1 einer Stufe der Strömungsmaschine gezeigt.

[0059] FIG. 9 zeigt eine schematische Schnittdarstellung eines nichtpositionierten Montagewerkzeuges 11, welches in der durch den im Wesentlichen senkrecht nach unten gerichteten Pfeil symbolisierten Pfeilrichtung auf bzw. ringförmig um das montierte Verbindungselement 5 der Verbindungsvorrichtung 1 positioniert werden kann.

[0060] FIG. 10 zeigt eine Schnittdarstellung des positionierten Montagewerkzeuges 11, wobei die Aufheizvorrichtung 14 ringförmig um das Verbindungselement 5 positioniert ist. Durch das Aufheizen des Verbindungselementes 5 durch die Heizvorrichtung 14 kann der Innendurchmesser I aufgeweitet werden, sodass die Übermaßverbindung gelöst werden kann.

[0061] In FIG. 11 ist eine Schnittdarstellung eines demontierten Verstellhebels 3 gezeigt, welcher in der durch den senkrecht nach oben gerichteten Pfeil symbolisierten Pfeilrichtung vom Schaft 4 abhebbar ist. Beim Abheben kann das Verbindungselement 5 in der Ringöffnung

17 positioniert bleiben, sodass das Montagewerkzeug 11 und das Verbindungselement 5 gemeinsam abgehoben werden können. Insbesondere kann dabei der Verstellhebel 3 durch eine Haltevorrichtung des Montagewerkzeuges 11 gehalten werden.

[0062] FIG. 12 zeigt ein schematisches Ablaufdiagramm eines Montageverfahrens, insbesondere eines Verfahrens zum drehfesten Verbinden der Leitschaukel 2 mit dem Verstellhebel 3 mittels eines Montagewerkzeuges 11 gemäß einer bevorzugten Ausführungsform. In einem ersten Schritt S1 kann die Aufheizvorrichtung 14 um das Verbindungselement 5 ringförmig positioniert werden.

[0063] In einem zweiten Schritt kann das Verbindungselement 5 mittels der Aufheizvorrichtung 14 aufgeheizt werden, sodass sich der Innendurchmesser I des Verbindungselementes 5 aufweitet. In einem dritten Verfahrensschritt S3 wird das Verbindungselement 5 auf das äußere Ende 6 des Schaftes 4 der Leitschaukel hülsenartig aufgesteckt, wobei der aufgeweitete Innendurchmesser I des Verbindungselementes 5 größer ist als ein Durchmesser D des Schaftes 4 am äußeren Ende 6. In einem vierten Schritt S4 wird die Aufheizvorrichtung 14 von dem Verbindungselement abgenommen, sodass sich das Verbindungselement 5 abkühlt und auf das äußere Ende 6 des Schaftes 4 aufschrunpft.

[0064] In FIG. 13 ist ein schematisches Ablaufdiagramm eines Demontageverfahrens gezeigt, insbesondere ein Verfahren zum Lösen einer drehfesten Verbindung zwischen der Leitschaukel 2 und dem Verstellhebel 3 mittels des Montagewerkzeuges 11. In einem fünften Schritt S5 wird die Aufheizvorrichtung 14 um das Verbindungselement 5 ringförmig positioniert. In einem sechsten Schritt S6 wird das Verbindungselement 5 mittels der Aufheizvorrichtung 14 aufgeheizt, sodass sich der Innendurchmesser I des Verbindungselementes 5 aufweitet. In einem siebten Schritt S7 kann das Verbindungselement 5 vom äußeren Ende 6 des Schaftes 4 abgehoben werden.

Bezugszeichenliste:

[0065]

- | | |
|----|------------------------------|
| 1 | Verbindungsvorrichtung |
| 2 | Leitschaukel |
| 3 | Verstellhebel |
| 4 | Schaft |
| 5 | Verbindungselement |
| 6 | Äußeres Ende des Schaftes |
| 7 | Dreidimensionale Stirnfläche |
| 8 | Abgeschrägter Bereich |
| 9 | Schaukelblatt |
| 10 | Übermaßpassung |
| 11 | Montagewerkzeug |
| 12 | Hohlkörper |
| 13 | Inneres des Hohlkörpers |
| 14 | Aufheizvorrichtung |

15	Induktionsspule
16	Gehäuse der Aufheizvorrichtung
17	Ringöffnung
29	Abgeschrägter Bereich des Verbindungselementes
30	Hebelarm
31	Aufnahme
33	Mantelfläche des Schaftes
34	Innenwandfläche des Verbindungselementes
100	Strömungsmaschine
A	Verstellachse
D	Durchmesser der Schaftes
I	Innendurchmesser

Patentansprüche

1. Leitschaukelvorrichtung (1) für eine Leitschaukelverstellung einer Strömungsmaschine (100), umfassend
 - eine Leitschaukel (2), welche einen sich entlang einer Verstellachse (A) der Leitschaukel (2) erstreckenden Schaft (4) aufweist,
 - einen Verstellhebel (3), welcher ein Verbindungselement (5) zum Verbinden mit einem Verbindungsabschnitt am radial äußeren Ende (6) des Schaftes (5) ausbildet,
dadurch gekennzeichnet, dass
 - der Schaft (4) einen Positionierungsabschnitt (7) aufweist,
 - das Verbindungselement (5) zumindest abschnittsweise den Verbindungsabschnitt am äußeren Ende (6) des Schaftes (4) hülsenartig umschließt und mit dem Positionierungsabschnitt (7) formschlüssig verbunden ist,
 - die Leitschaukelvorrichtung eine Übermaßpassung (10) zwischen dem Verbindungselement (5) und dem Verbindungsabschnitt am äußeren Ende (6) des Schaftes (4) ausbildet.
2. Leitschaukelvorrichtung (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verbindungselement (5) ein Hohlkörper (12) ist, der in seinem Inneren (13) komplementär zum äußeren Ende (6) des Schaftes (4) ausgebildet ist.
3. Leitschaukelvorrichtung (1) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Innendurchmesser (I) des Verbindungselementes (5) in einem nichtmontierten Zustand kleiner ist als ein Durchmesser (D) des Schaftes (4) am äußeren Ende (6).
4. Leitschaukelvorrichtung (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Positionierungsabschnitt (7) als eine dreidimensionale Stirnfläche mit zumindest einer abgeschrägten Stirnfläche (8) ausgebildet ist.

5. Montagewerkzeug (11) zum drehfesten Verbinden einer vorgegebenen Leitschaukel (2) mit einem vorgegebenen Verstellhebel (3) einer Leitschaukelverstellung einer Strömungsmaschine (100), wobei der Verstellhebel (3) ein Verbindungselement (5) zum Verbinden mit der Leitschaukel (2) ausbildet,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Montagewerkzeug (11) eine Aufheizvorrichtung (14), insbesondere eine Induktionsspule (15), zum Aufheizen des Verbindungselementes (5) umfasst, wobei die Aufheizvorrichtung (14) ringförmig um das Verbindungselement (5) positionierbar ist.
6. Montagewerkzeug (11) nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Montagewerkzeug (11) eine Haltevorrichtung zum Halten des Verstellhebels (3) umfasst.
7. Verfahren zum drehfesten Verbinden einer Leitschaukel (2) mit einem Verstellhebel (3) einer Leitschaukelverstellung einer Strömungsmaschine (100) mittels eines Montagewerkzeuges (11) nach einem der Ansprüche 4 bis 6, umfassend die Schritte:
 - Ringförmiges Positionieren (S1) der Aufheizvorrichtung (14) um das Verbindungselement (5);
 - Aufheizen (S2) des Verbindungselementes (5) mittels der Aufheizvorrichtung (14), sodass sich ein Innendurchmesser (I) des Verbindungselementes (5) aufweitet;
 - Hülsenartiges Aufstecken (S3) des Verbindungselementes (5) auf ein äußeres Ende (6) eines Schaftes (4) der Leitschaukel (2), wobei der aufgeweitete Innendurchmesser (I) des Verbindungselementes (5) größer ist als ein Durchmesser (D) des Schaftes (4) am äußeren Ende (6);
 - Abnehmen (S4) der Aufheizvorrichtung (14) von dem Verbindungselement (5), sodass sich das Verbindungselement (5) abkühlt und auf das äußere Ende (6) des Schaftes (4) aufschumpft.
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** das äußere Ende (6) eine dreidimensionale Stirnfläche (7) mit zumindest einem abgeschrägten Bereich (8) aufweist, wobei das Verbindungselement (5) formschlüssig auf das äußere Ende (6) aufgesteckt wird.
9. Verfahren zum Lösen einer drehfesten Verbindung zwischen einer Leitschaukel (2) und einem Verstellhebel (3) einer Leitschaukelverstellung einer Strömungsmaschine (100) mittels eines Montagewerkzeuges (11) nach einem der Ansprüche 4 bis 6, wobei das Verbindungselement (5) hülsenartig auf ein

äußeres Ende (6) eines Schaftes (4) der Leitschaufel (2) aufgeschumpft ist, umfassend die Schritte:

- Ringförmiges Positionieren (S5) der Aufheizvorrichtung (14) um das Verbindungselement (5); 5
- Aufheizen (S6) des Verbindungselementes (5) mittels der Aufheizvorrichtung (14), sodass sich ein Innendurchmesser (I) des Verbindungselementes (5) aufweitet; 10
- Abheben (S7) des Verbindungselementes (5) vom äußeren Ende (6) des Schaftes (4).

10. Strömungsmaschine (100), aufweisend eine Leitschaufelvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4. 15

20

25

30

35

40

45

50

55

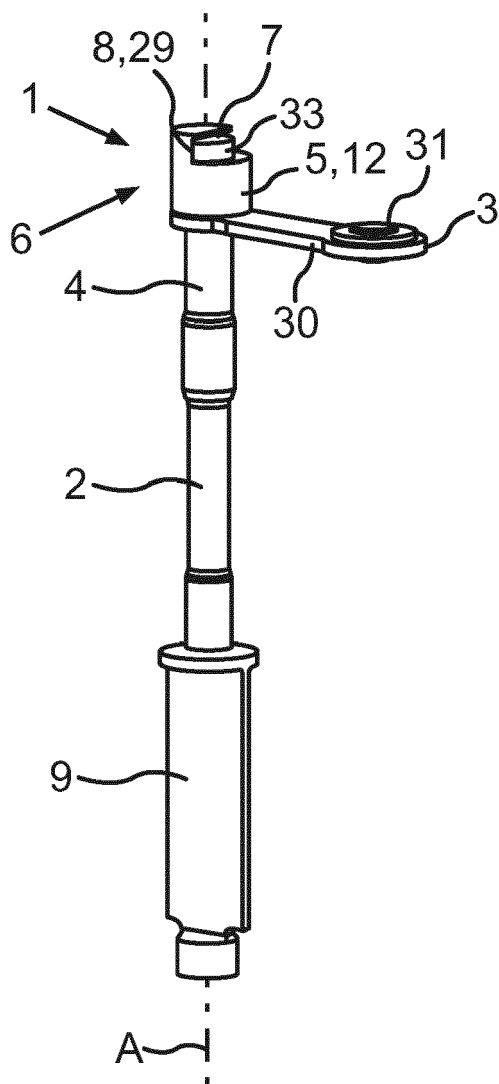


Fig.1

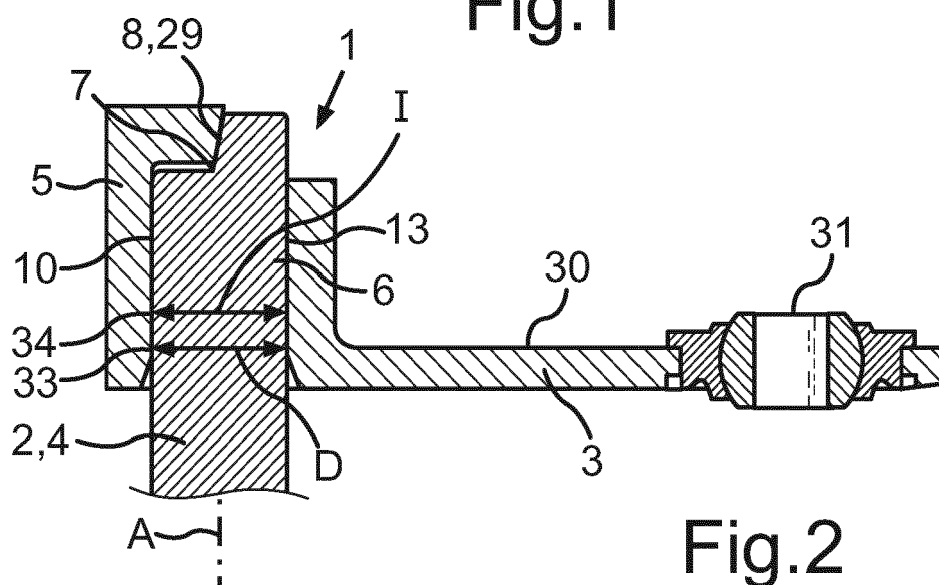


Fig.2

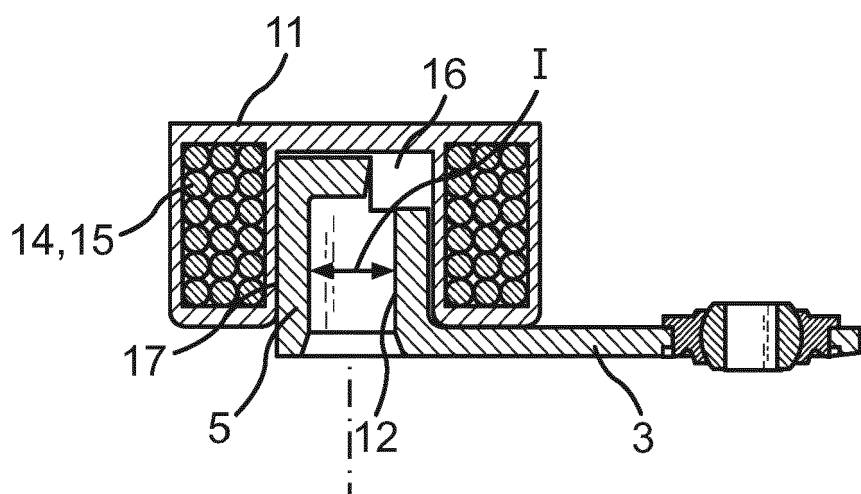


Fig.3

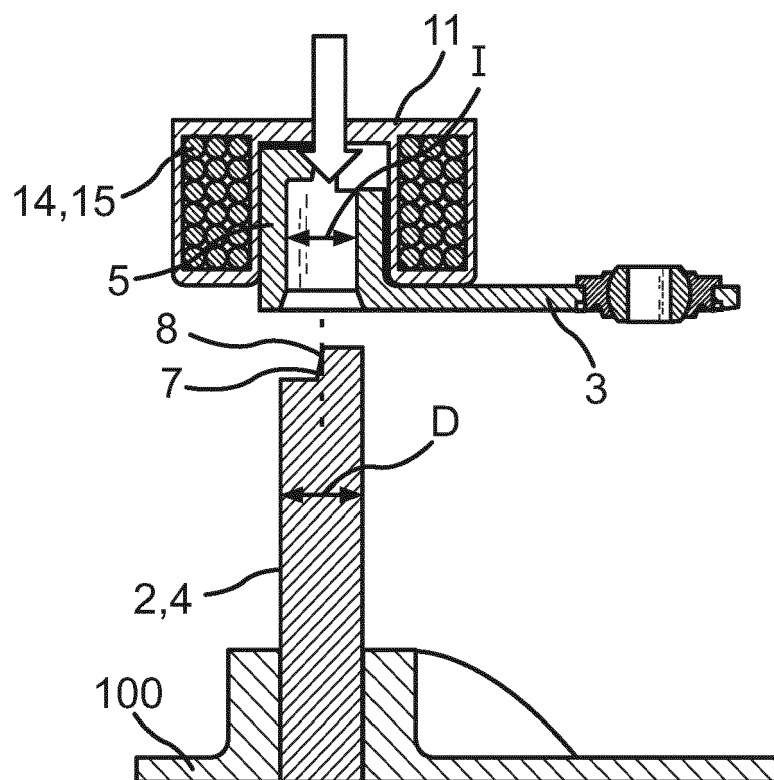


Fig.4

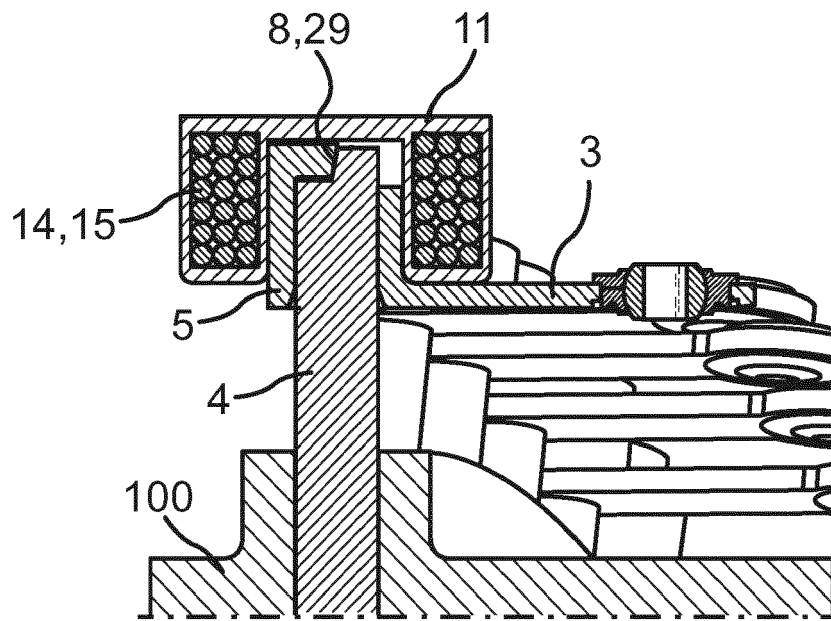


Fig. 5

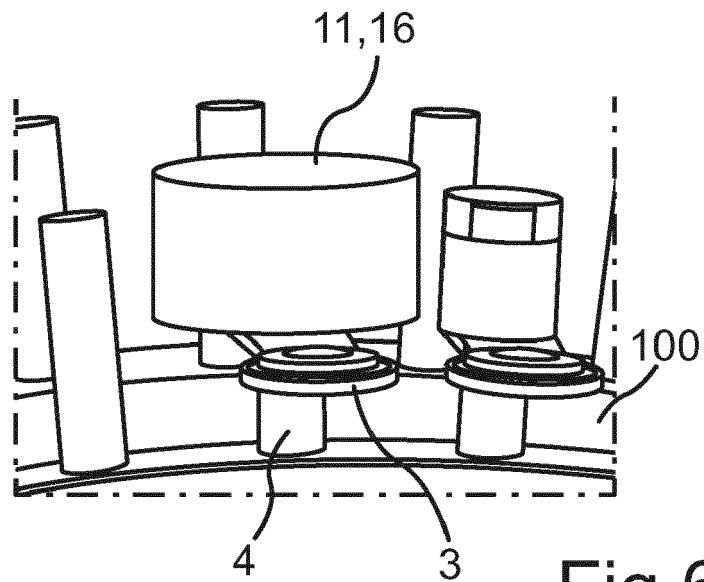


Fig. 6

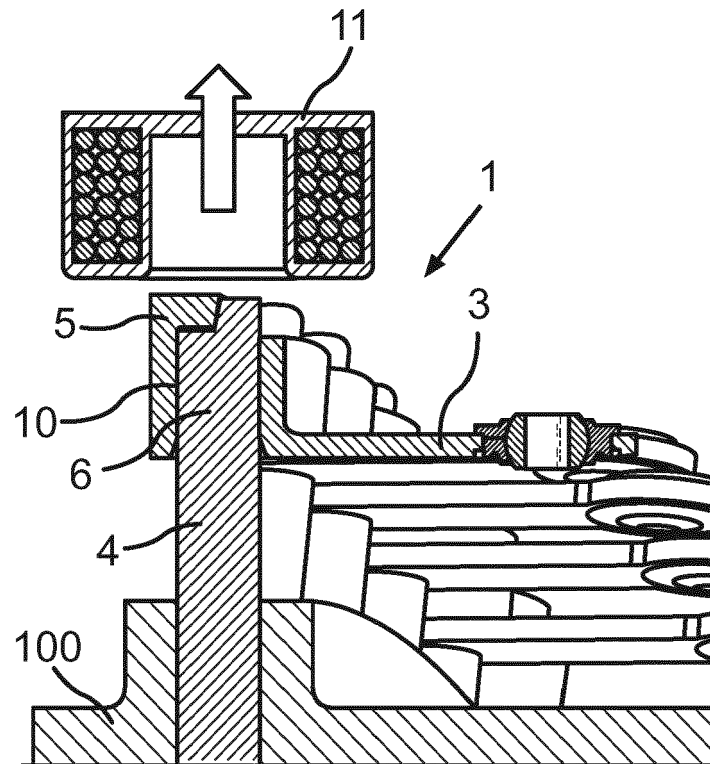


Fig.7

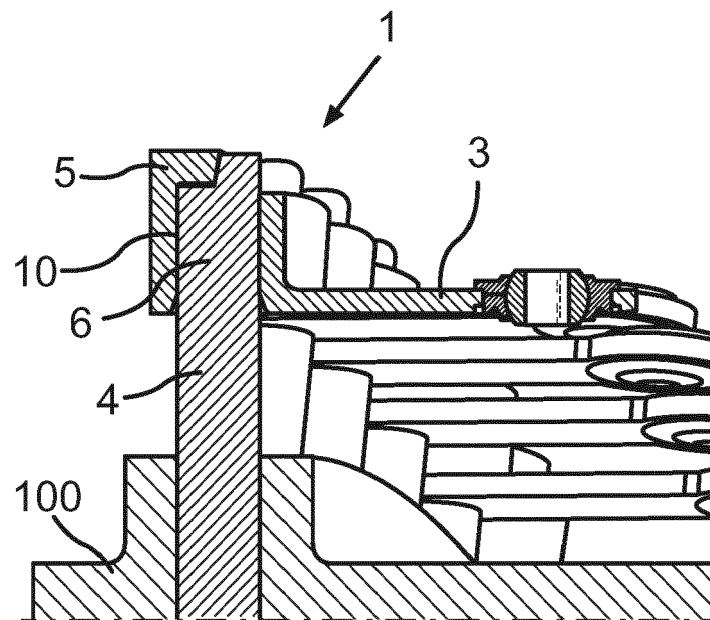


Fig.8

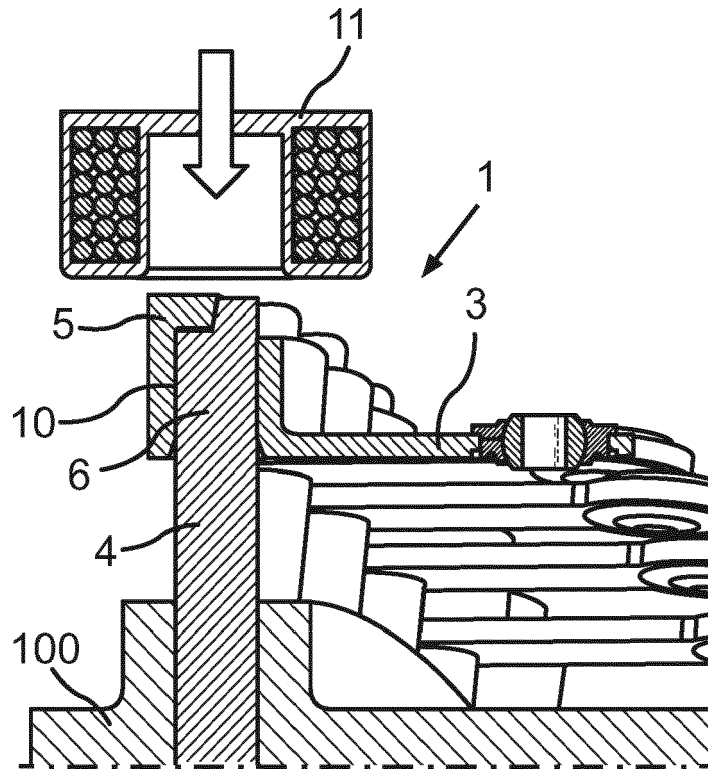


Fig.9

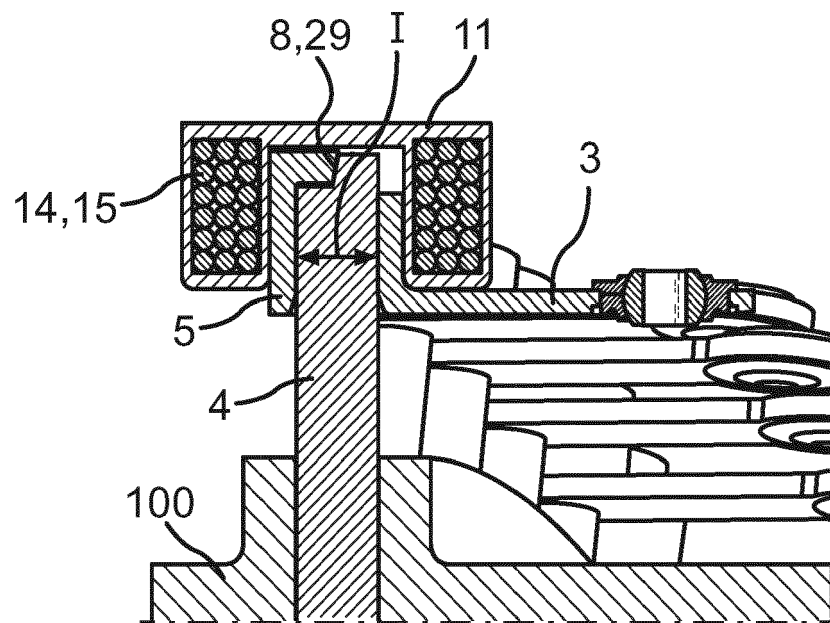


Fig.10

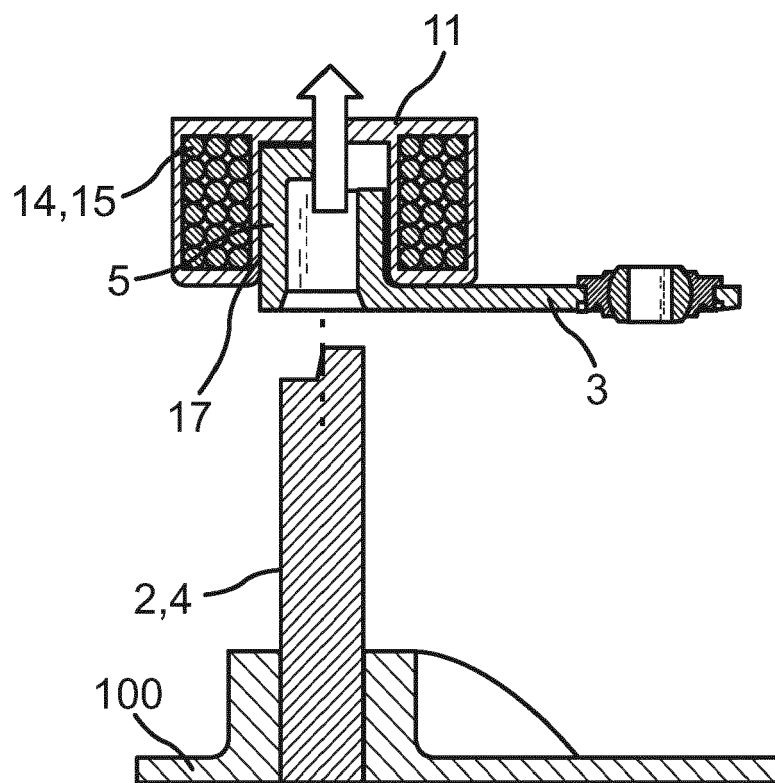


Fig.11

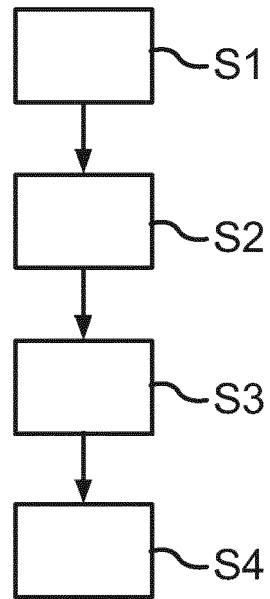


Fig.12

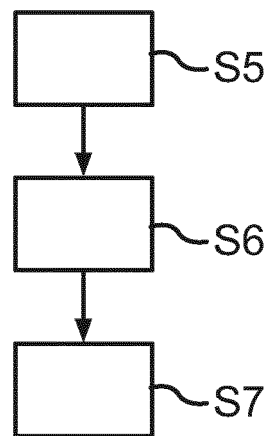


Fig.13