



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 602 12 295 T2** 2007.05.16

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 310 632 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **602 12 295.3**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **02 257 549.2**

(96) Europäischer Anmeldetag: **30.10.2002**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **14.05.2003**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **14.06.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **16.05.2007**

(51) Int Cl.⁸: **F01D 5/00** (2006.01)

B21D 11/14 (2006.01)

B21D 53/78 (2006.01)

B23P 6/00 (2006.01)

B23P 15/02 (2006.01)

B23P 15/04 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

38074

09.11.2001

US

(74) Vertreter:

Rüger und Kollegen, 73728 Esslingen

(73) Patentinhaber:

**GE Aviation Services Operation (Pte) Ltd.,
Singapur/Singapore, SG**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB

(72) Erfinder:

Wah, Lum Kok, Singapore 510110, SG

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Korrektur der Verwindung einer Schaufel**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Diese Erfindung betrifft allgemein die Reparatur von Schaufelblattkomponenten, die in Gasturbinentriebwerken verwendet werden, und insbesondere Verfahren und Vorrichtungen zur Korrektur einer Schaufelblattverwindung von derartigen Komponenten.

[0002] Ein Gasturbinentriebwerk arbeitet gemäß allgemein bekannten Grundsätzen, wobei ein ankommender Strom einer atmosphärischen Luft durch das Triebwerk hindurch entlang eines axialen Strömungswegs strömt. Ein Teil der ankommenden Luft wird in einem Verdichterabschnitt des Triebwerks komprimiert und anschließend mit Brennstoff vermischt und in einem Brennkammerabschnitt verbrannt, um einen energiereichen Hochtemperatur-Gasstrom zu erzeugen. Der heiße Gasstrom tritt aus der Brennkammer aus und durchläuft anschließend einen Turbinenabschnitt, der Energie aus dem heißen Gasstrom entzieht, um den Verdichter anzutreiben und eine nützliche Arbeit, wie beispielsweise das Antreiben eines Flugzeugs während des Flugs, zu verrichten. Der Verdichterabschnitt und der Turbinenabschnitt enthalten jeweils gewöhnlich mehrere Leitschaufeln und Laufschaufeln mit Schaufelblättern, die mit der Gasströmung wechselwirken. Die Schaufelblätter sind gemäß einer genauen Gestalt und Kontur gestaltet, um das Leistungsverhalten des Triebwerks zu optimieren. Die Schaufelblattkontur enthält gewöhnlich eine Verwindung von dem Fuß zu der Spitze, um den aerodynamischen Wirkungsgrad auf ein Maximum zu steigern.

[0003] Die Schaufelblattkomponenten sowie andere Komponenten des Triebwerks sind während eines Triebwerkbetriebs Bedingungen ausgesetzt, die ihre effektive Nutzdauer begrenzen. Diese Komponenten sind Schwingungsbeanspruchungen und hohen Temperaturen unterworfen und können somit ermüden, rissig werden, korrodieren und in sonstiger Weise im Laufe der Zeit beschädigt werden, so dass sie entweder repariert oder ersetzt werden müssen, um einen sicheren, effizienten Triebwerkbetrieb aufrecht zu erhalten. Die Schaufelblattkomponenten können auch aufgrund von inhärenten elastischen Belastungen und (in dem Fall von Laufschaufeln) Zentrifugalbelastungen, die durch die Rotordrehung hervorgerufen sind, ihre Verwindung verlieren.

[0004] Weil Schaufelblattkomponenten verhältnismäßig kostspielig sind, ist es im Allgemeinen erstrebenswerter, diese soweit wie möglich zu reparieren. Somit werden Schaufelblattkomponenten routinemäßig zu Wartungszwecken geprüft, wobei eine weite Vielfalt von Reparaturverfahren entwickelt worden ist. Wenn Schaufelblattkomponenten in eine Reparaturwerkstatt gebracht werden, ist es häufig erforderlich, zusätzlich zu irgendwelchen sonstigen Reparaturen,

die vorgenommen werden müssen, die Schaufelblattverwindung zu korrigieren. Gegenwärtig wird eine Korrektur der Verwindung bewerkstelligt, indem die Schaufelblattkomponente in einer Verwindungseinspannvorrichtung gehalten und eine Kraft angewandt wird, um die Komponente zu verwinden. Der Verwindungswinkel des Schaufelblatts wird anschließend nach jeder Verwindung von Hand gemessen, und dieser Prozess wird wiederholt, bis der korrekte Verwindungswinkel erhalten wird. Weil der Benutzer lediglich schätzen kann, wie viel Kraft jedes Mal zugeführt werden muss, erfordert dieser Lösungsansatz häufig viele Iterationsschritte, um den gewünschten Verwindungswinkel zu erreichen. Dies ergibt einen zeitaufwendigen, arbeitsintensiven und kostspieligen Prozess. Diese Methode kann auch aufgrund der Anwendung einer überhöhten Kraft zu einer zu großen Verwindung führen. Verschiedene Verwindungsverfahren für Laufschaufeln von Turbomaschinen sind in US-A-5 933 952 und JP 60 064 747 A beschrieben.

[0005] Demgemäß ist es wünschenswert, eine genauere, produktivere Methode zur Verwindungskorrektur bei Schaufelblattkomponenten zu haben.

[0006] Der vorerwähnte Bedarf wird durch die vorliegende Erfindung gedeckt, die ein System nach Anspruch 1 sowie ein Verfahren nach Anspruch 10 zur Verfügung stellt.

[0007] Die Erfindung ist nun in größeren Einzelheiten zu Beispielszwecken mit Bezug auf die Zeichnungen beschrieben:

[0008] [Fig. 1](#) zeigt eine perspektivische Ansicht eines Systems zur Korrektur einer Verwindung von Schaufelblattkomponenten.

[0009] [Fig. 2](#) zeigt eine Perspektivdarstellung einer Niederdruckturbinenlaufschaufel, die eine Art einer Schaufelblattkomponente bildet, deren Verwindung durch das System nach [Fig. 1](#) korrigiert werden kann.

[0010] [Fig. 3](#) zeigt eine Perspektivdarstellung einer unteren Einspannvorrichtung aus dem System nach [Fig. 1](#).

[0011] [Fig. 4](#) zeigt eine perspektivische Ansicht einer Drehantriebseinheit zur Drehung der unteren Einspannvorrichtung nach [Fig. 3](#).

[0012] [Fig. 5](#) zeigt eine perspektivische Vorderansicht einer oberen Einspannvorrichtung aus dem System nach [Fig. 1](#).

[0013] [Fig. 6](#) zeigt eine perspektivische Hinteransicht der oberen Einspannvorrichtung nach [Fig. 5](#).

[0014] [Fig. 7](#) zeigt eine perspektivische Ansicht einer Klaue, die in der oberen Einspannvorrichtung nach [Fig. 5](#) verwendet wird.

[0015] [Fig. 8](#) zeigt eine Perspektivdarstellung eines Fühlers zur Messung des Verwindungswinkels einer Komponente in dem System nach [Fig. 1](#).

[0016] [Fig. 9](#) veranschaulicht in graphischer Weise einen in der vorliegenden Erfindung verwendeten Steuerungsbildschirm.

[0017] [Fig. 10](#) veranschaulicht in schematisierter Weise eine in der vorliegenden Erfindung verwendete manuelle Steuerungsbox.

[0018] Bezugnehmend auf die Zeichnungen, in denen identische Bezugszeichen die gleichen Elemente über die verschiedenen Ansichten hinweg bezeichnen, veranschaulicht [Fig. 1](#) ein System **10** zur Korrektur einer Verwindung bei Schaufelblattkomponenten, wie beispielsweise der Turbinenlaufschaufel **12**, die lediglich zu Beispielszwecken in [Fig. 1](#) veranschaulicht ist. Die Laufschaufel **12**, die in größeren Einzelheiten in [Fig. 2](#) dargestellt ist, bildet eine Laufschaufel einer ersten Stufe einer Niederdruckturbine, die eine Längsachse **14** aufweist. Die Laufschaufel **12** enthält integral angeformte Schaft- und Schaufelblattabschnitte **16** bzw. **18**. Der Schaft **16** ist mit einer Schwalbenschwanzkonfiguration versehen, um die Laufschaufel an einer (nicht veranschaulichten) Rotorscheibe in einer herkömmlich bekannten Weise sicher zu befestigen. Das Schaufelblatt **18** erstreckt sich in radialer Richtung nach außen von dem Schaft **16** aus und in den Heißgasstrom hinein. Das Schaufelblatt **18** weist eine konkave Druckseite **20** und eine konvexe Saugseite **22** auf, die an einer Vorderkante **24** und an einer Hinterkante **25** miteinander verbunden sind. Ein Deckband **26** ist an der Spitze des Schaufelblattabschnitts **18** ausgebildet. Wenn die Laufschaufel **12** in einem Gasturbinentriebwerk eingebaut ist, steht das Deckband **26** mit den Deckbändern der benachbarten Laufschaufeln in Berührung, so dass sämtliche Deckbänder gemeinsam die radial äußere Begrenzung für den Heißgasstrom bilden, der durch das Gasturbinentriebwerk hindurch tritt. Die Laufschaufel **12** ist um die Längsachse **14** zu einem gewünschten Verwindungswinkel verspannt, um ein optimales Leistungsverhalten zu erzielen. Die Laufschaufel **12** ist hier lediglich als ein Beispiel für eine Schaufelblattkomponente veranschaulicht, deren Verwindung durch das System **10** korrigiert werden kann. Die vorliegende Erfindung ist nicht auf Niederdruckturbinenlaufschaufeln beschränkt. Wie ohne weiteres verständlich, kann das System **10** konfiguriert werden, um eine Verwindung in sonstigen Schaufelkomponenten, einschließlich Hochdruckturbinenlaufschaufeln, Verdichterlaufschaufeln und Leit-schaufeln, zu korrigieren.

[0019] Bezugnehmend erneut auf [Fig. 1](#) enthält das System **10** eine Basis **28**, die einen unteren Teil **30** und einen oberen Teil **32** aufweist, der sich in vertikaler Richtung nach oben von dem unteren Teil **30** aus erstreckt. Der untere Teil **30** trägt eine horizontale Grundplatte **34**, während der obere Teil **32** eine vertikale Grundplatte **36** trägt. Die horizontale und die vertikale Platte **34**, **36** sind in einer L-förmigen Konfiguration angeordnet, um einen Arbeitsbereich zu definieren. Der Arbeitsbereich ist durch einen Rahmen **38** umschlossen, der mehrere Rahmenelemente **40** aufweist, die aus einem verhältnismäßig stabilen Material, beispielsweise Aluminium, hergestellt sind. Zwei Rahmenelemente **40** erstrecken sich von jeder Seite der horizontalen Platte **34**, in der Nähe ihrer vorderen Kante aus senkrecht nach oben. Zwei weitere Rahmenelemente **40** erstrecken sich senkrecht nach außen von jeweiligen oberen Ecken der vertikalen Platte **36** aus. Das distale Ende jedes horizontalen Rahmenelementes **40** ist mit dem distalen Ende des zugehörigen vertikalen Rahmenelementes **40** verbunden. Ein fünftes Rahmenelement **40** erstreckt sich in horizontaler Richtung zwischen den beiden Rahmenelementverbindungsstellen. Die Seiten und die Oberseite des Rahmens **38** sind mit transparenten Paneelen **42** bedeckt, um den Arbeitsbereich weiter zu umschließen. Die Paneele **42** können aus einem festen, durchsichtigen Kunststoffmaterial hergestellt sein. Die Vorderseite des Rahmens **38** ist offen belassen, um einen Zugang zu dem Arbeitsbereich zu schaffen. An der Vorderseite des Rahmens **38** können (nicht veranschaulichte) Sicherheitssensoren angeordnet sein, um das System **10** abzuschalten, wenn ein Bediener während eines Betriebs in den Arbeitsbereich hineingreift.

[0020] Eine untere Einspannvorrichtung **44** ist an der horizontalen Platte **34** in dem Innenraum des Rahmens **38** montiert. Wie in größeren Einzelheiten nachstehend beschrieben, enthält die untere Einspannvorrichtung **44** Mittel zum Klemmen des Schaufelschaftes **16**, und sie liefert auch eine Drehkraft zur Verwindung der Laufschaufel **12**. Das System **10** enthält ferner einen Schlitten **36**, der an der vertikalen Platte **36** über ein Paar vertikal verlaufender Schienen **48** verschiebbar montiert ist, die an der vertikalen Platte **36** starr befestigt sind. Der Schlitten **36** trägt eine obere Einspannvorrichtung **50** unmittelbar oberhalb der unteren Einspannvorrichtung **44** sowie einen Messfühler **52** zur Messung des Verwindungswinkels der Laufschaufel **12**. Der Schlitten **46** kann sich linear entlang der Schienen **48** in Richtung auf die untere Einspannvorrichtung **44** zu oder von dieser weg bewegen. Der Schlitten **46** ist in eine (in [Fig. 1](#) veranschaulichte) angehobene Stellung bewegbar, um eine lichte Höhe zum Herausnehmen und/oder Einbringen einer Laufschaufel **12** in die untere Einspannvorrichtung **44** zu schaffen. Der Schlitten **46** kann auch in eine abgesenkte Stellung bewegt werden, in der die obere Einspannvorrichtung **50** mit

dem Deckband **26** der Laufschaufel **12** in Eingriff steht. Die obere Einspannvorrichtung **50** hält das Deckband **26**, während die untere Einspannvorrichtung **44** eine Drehkraft auf den Schaft **16** anwendet, wodurch die Laufschaufel **12** verwunden bzw. verspannt wird. Der Messfühler **52** ist auf dem Schlitten **46** derart positioniert, dass er mit dem Laufschaufelblatt **18** zur Messung des Verwindungswinkels der Laufschaufel in Berührung steht. Für einheitliche Verwindungswinkelmessungen sollte jede Komponente, die einer Verwindungskorrektur unterzogen wird, mit der gleichen Ausrichtung in das System **10** eingelegt werden. In einer bevorzugten Ausführungsform wird die Laufschaufel **12** derart eingespannt, dass die konvexe Seite **22** des Schaufelblattes nach außen weist, so dass der Messfühler **52** mit der konvexen Seite **22** in Kontakt steht. Alternativ wäre es möglich, das System **10** derart zu konfigurieren, dass die Laufschaufeln derart eingebracht werden, dass ihre konkaven Seiten nach außen weisen.

[0021] Ein Netzschalter **54** ist an einer vorderen Ecke der horizontalen Platte **34** angeordnet. Der Netzschalter **54**, der ein Schalter nach Art einer Feststelltaste sein kann, wird dazu verwendet, das System **10** ein- und auszuschalten.

[0022] Das System **10** enthält ferner eine Steuerungseinrichtung **56** zur Steuerung der Drehbewegung der unteren Einspannvorrichtung **44** und der Linearbewegung des Schlittens **46**. Die Steuerungseinrichtung **56** kann durch einen kommerziell erhältlichen Personalcomputer gebildet sein, der an einem Träger **58** montiert ist, der an der Seite der Basis **28** befestigt ist. In einer Ausführungsform weist die Steuerungseinrichtung **56** einen Berührungsbildschirm-Anzeigemonitor, der einen Betrieb des Systems **10** unterstützt. Die Steuerungseinrichtung **56** enthält eine Softwareanwendung, die hier nachstehend als die „Auto-Verwindung“- bzw. „Auto Twist“-Software bezeichnet ist, die den momentanen Verwindungswinkel der Laufschaufel **12** basierend auf von dem Messfühler **52** herrührenden Eingangssignalen bestimmt und veranlasst, dass die Laufschaufel entsprechend verwunden bzw. verspannt wird, um den Verwindungswinkel zu korrigieren. In einer Ausführungsform ist die Auto-Verwindungs-Software eine Windows-basierte Anwendung, die sämtliche Verwindungsinformationen speichert und Funktionen für eine große Anzahl von Schaufelblattkomponentenmodellen aufruft.

[0023] Indem nun auf [Fig. 3](#) verwiesen wird, enthält die untere Einspannvorrichtung **44** eine Grundplatte **60**, einen ersten Trägerblock **62** und einen zweiten Trägerblock **64**. Der erste Trägerblock **62** ist an der Grundplatte **60** starr gesichert, so dass er sich entlang eines Randes von dieser erstreckt. Der zweite Trägerblock ist an der Grundplatte an einer von dem ersten Trägerblock **62** beabstandeten Stelle starr ge-

sichert und parallel zu diesem ausgerichtet. Zwei Führungsstangen **66** erstrecken sich in Richtung auf den zweiten Trägerblock **64** von der Seite des ersten Trägerblocks **62** aus. An den Führungsstangen **66** ist ein Gleitklotz **68** verschiebbar montiert. Eine pneumatische Zylindereinheit **70** ist an dem ersten Trägerblock **62** montiert und dazu eingerichtet, mit dem Gleitklotz **68** verbunden zu sein. Die Pneumatikzylindereinheit **70** drückt somit den Gleitklotz **68** in Richtung auf den zweiten Trägerblock **64**, wenn sie betätigt ist. Die Pneumatikzylindereinheit **70** kann auch gesteuert werden, um den Gleitklotz **68** von dem zweiten Trägerblock **64** weg zurückzuziehen. Der Gleitklotz **68** trägt eine erste Klaue **72**, während der zweite Trägerblock **64** eine zweite Klaue **74** in Nebeneinanderanordnung zu der ersten Klaue **72** trägt. Die erste und die zweite Klaue **72**, **74** sind konfiguriert, um mit jeweiligen Seiten des Schaufelschaftes **16** verbunden zu sein. Wenn die Pneumatikzylindereinheit **70** den Gleitklotz **68** in Richtung auf den zweiten Trägerblock **64** drückt, arbeiten somit die beiden Klauen **72**, **74** zusammen, um den Schaufelschaft **16** fest einzuklemmen. Es sollte erwähnt werden, dass die Klauen **72**, **74** austauschbar sind. Dies bedeutet, dass unterschiedliche Sätze von Klauen an dem Gleitklotz **68** und dem zweiten Trägerblock **64** montiert werden können, um andere Komponenten als die Laufschaufel **12**, wie beispielsweise Hochdruckturbinenlaufschaufeln, Verdichterlaufschaufeln und Leitschaufeln, zu klemmen.

[0024] Bezugnehmend auf [Fig. 4](#) ist eine Drehantriebseinheit **76** zur Drehung der unteren Einspannvorrichtung **44** veranschaulicht. Die Drehantriebseinheit **76** ist unterhalb der horizontalen Platte **34**, unmittelbar unter der unteren Einspannvorrichtung **44** angeordnet und enthält einen Stützrahmen **78** zur Verbindung der Drehantriebseinheit **76** mit der horizontalen Platte **34**. Der Stützrahmen **78** weist eine obere Platte **80**, eine untere Platte **82** und zwei Endplatten **84** auf, die die obere und die untere Platte **80**, **82** in einer kastenartigen Anordnung miteinander verbinden. Die obere Platte **80** ist an der Unterseite der horizontalen Platte **34** befestigt.

[0025] Die Drehantriebseinheit **76** enthält ferner eine Untersetzungseinheit **86**, die an der unteren Platte **82** montiert ist, sowie einen Drehmotor **88**, der mit der Untersetzungseinheit **86** gekoppelt ist. In einer Ausführungsform ist die Untersetzungseinheit **86** durch eine hochharmonische Räderuntersetzungseinrichtung gebildet, und der Drehmotor **88** ist ein bürstenloser Gleichstromservomotor. Eine Welle von der Untersetzungseinheit **86** ragt durch die untere Platte **82** hindurch und ist mit einer Drehmomenterfassungsvorrichtung **90** antriebsmäßig verbunden, die zwischen der oberen und der unteren Platte **80**, **82** angeordnet ist. Die Drehmomenterfassungsvorrichtung **90** weist eine obere und eine untere Druckplatte **92**, **94** sowie zwei zwischen den Druckplatten

92, 94 angeordnete Kraftmesszellen auf, die dazu dienen, die Drehmomentstärke zu erfassen, die durch die Drehantriebseinheit **76** erzeugt wird.

[0026] Ein universeller Ausgangsadapter **96** ist an der Oberseite der oberen Platte **80** montiert und mit der Drehmomenterfassungsvorrichtung **90** antriebsmäßig gekoppelt. Der Ausgangsadapter **96** erstreckt sich durch eine Öffnung in der horizontalen Platte **94** hindurch, so dass er mit der Unterseite der Grundplatte **60** der unteren Einspannvorrichtung **44** verbunden ist. Im Betrieb treibt der Drehmotor **88** unter der Steuerung durch die Steuerungseinrichtung **56** den Ausgangsadapter **96** über die Untersetzungseinheit **86** und die Drehmomenterfassungsvorrichtung **90** an. Die Drehbewegung des Ausgangsadapters **96** wird auf die Grundplatte **60** übertragen, wodurch die untere Einspannvorrichtung **44** veranlasst wird, sich zu drehen und die Verwindungswirkung zur Verwindung der Laufschaufel **12** um ihre Längsachse **14** zu erzielen. Die Drehmomenterfassungsvorrichtung **90** gibt ein Signal, das für das erfasste Drehmoment kennzeichnend ist, an die Steuerungseinrichtung **56** aus, um eine Drehmomentsteuerung zu ermöglichen.

[0027] Bezugnehmend nun auf [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) ist die Funktion des Schlittens **46** in größeren Einzelheiten beschrieben. Wie vorstehend erwähnt, ist der Schlitten **46** an der vertikalen Platte **36** über zwei in vertikaler Richtung verlaufende Schienen **48** verschiebbar montiert. Eine Ausführungsform zur linearen Bewegung des Schlittens **46** enthält eine Kugelumlaufspindelvorrichtung, bei der eine Spindel **98** ([Fig. 6](#)) in einer vertikalen Anordnung an der Rückseite der vertikalen Platte **96** durch ein oberes und ein unteres Achslager **100** drehbar montiert ist. Das untere Ende der Spindel **98** erstreckt sich durch eine Öffnung in der horizontalen Platte **34** hindurch und ist mit einem Motor **102** antriebsmäßig gekoppelt, der unterhalb der horizontalen Platte **34** angeordnet ist. Der Motor **102**, der durch einen Schrittmotor mit hoher Auflösung, hoher Genauigkeit gebildet sein kann, ist durch die Steuerungseinrichtung **56** gesteuert, um die Spindel **98** in einer beliebigen Richtung zu drehen. Auf der Schraube **98** ist (zwischen dem oberen und dem unteren Achslager **100**) eine Buchse oder Gewindemutter **104** über ein Gewinde derart montiert, dass eine Drehung der Spindel **98** in einer ersten Richtung die Buchse bzw. Gewindemutter **104** veranlasst, sich entlang der Spindel **98** nach oben zu bewegen, während eine Drehbewegung der Spindel **98** in die entgegengesetzte Richtung die Gewindemutter **104** veranlasst, sich nach unten zu bewegen. Ein Teil der Gewindemutter **104** erstreckt sich durch einen vertikalen Schlitz **106** hindurch, der in der vertikalen Platte **36** in Ausrichtung mit der Spindel **98** ausgebildet ist. Dieser Teil der Gewindemutter **104** ist an der Rückseite des Schlittens **46** starr befestigt. Demgemäß wird der Schlitten **46** in einer vertikalen Richtung nach oben und nach unten bewegt, wenn

die Schraube in die erste bzw. zweite Richtung gedreht wird. Der Schlitz **106** weist eine ausreichende vertikale Länge auf, um den gewünschten Bewegungsbereich für den Schlitten **46** zuzulassen.

[0028] Wie vorstehend erwähnt, trägt der Schlitten **46** die obere Einspannvorrichtung **50**. Wie aus [Fig. 5](#) ersichtlich, enthält die obere Einspannvorrichtung **50** eine Klauenhalterung **108**, die an der Vorderseite des Schlittens **46** starr befestigt ist, sowie eine Klaue **110**, die an der Klauenhalterung **108** starr befestigt ist. Bezugnehmend auf [Fig. 7](#) weist die Klaue **110** eine Öffnung **112** auf, die derart bemessen und gestaltet ist, dass sie über das Deckband **26** der Laufschaufel eng passt, wenn der Schlitten **46** in seine untere Stellung bewegt wird. Die Klaue **110** verhindert somit, dass das Deckband **26** sich dreht, wenn der Schaft **16** durch die untere Einspannvorrichtung **44** verdreht wird, wodurch die Laufschaufel **12** verwunden wird. Wie die Klauen der unteren Einspannvorrichtung **44** ist auch die Klaue **110** austauschbar, so dass Klauen mit anderen Öffnungskonfigurationen an der Klauenhalterung **108** montiert werden können, um mit anderen Komponenten als der Laufschaufel **12** verbunden zu werden.

[0029] Der Schlitten **46** trägt auch den Messfühler **52**, der den Verwindungswinkel der Laufschaufel **12** misst. Bezugnehmend auf [Fig. 8](#) enthält der Messfühler **52** eine Halteplatte **114**, die an der Vorderseite des Schlittens **46** befestigt ist. An der Halteplatte **114** ist eine Messtastereinheit **116** befestigt. Die Messtastereinheit **116** enthält einen fest angebrachten Taster **118** und einen Messtaster **120**, die in Seitenrichtung im Abstand zueinander angeordnet sind. Ein Schieberzylinder **122** ist zum Ausfahren und Einfahren des Messtasters **120** vorgesehen, der durch einen beliebigen geeigneten Taster, beispielsweise den digitalen Taster Solarton ax-55 gebildet sein kann. Eine Feineinstellung der Position wird mit einem linearen Maßstab **123**, beispielsweise einem kommerziell erhältlichen Linearmaßstab Starreh-263, bewerkstelligt. Dies ermöglicht eine Einstellung des Messtasters **120** in Einklang mit unterschiedlichen Stufen von Niederdruckturbinenlaufschaufeln. Während eines Verwindungswinkelmessvorgangs greift der fest angebrachte Taster **118** an der konvexen Seite **22** des Schaufelblattes **18** an, um einen Referenzpunkt zu liefern. Der Messtaster **120** wird anschließend mit dem Schaufelblatt **18** in Berührung gebracht. Die Ausgabe des Messtasters **120** wird der Steuerungseinrichtung **56** zugeführt. Die Differenz der Längserstreckung zwischen dem Messtaster **120** und dem ortsfesten Taster **118** wird anschließend dazu verwendet, den Verwindungswinkel zu bestimmen.

[0030] Im Betrieb wird das System **10** durch Auslösung des Netzschalters **54** aktiviert. Bevor das System **10** eingeschaltet wird, sollte der Bediener sicherstellen, dass das System **10** eine ausreichende

Druckluftversorgung für die pneumatische Zylindereinheit **70** aufweist. Zur Erfassung der Druckluftversorgung ist ein (nicht veranschaulichter) Drucksensor vorgesehen. Gewöhnlich wird ein Betriebsdruck zwischen 5 und 7 bar empfohlen.

[0031] Danach wird die Steuerungseinrichtung **56** eingeschaltet und dieser ermöglicht, hochzufahren bzw. einen Systemstart vorzunehmen. Der Bediener startet dann die Auto-Verwindungs-Software, die veranlasst, dass eine Steuerungsbildschirmanzeige **124** (wie sie in [Fig. 9](#) veranschaulicht ist) auf dem Monitor der Steuerungseinrichtung **56** angezeigt wird. Vor der Durchführung eines Verwindungskorrekturvorgangs wird das System **10** zurückgesetzt und kalibriert. Dies wird bewerkstelligt, indem aus dem Pull-Down-Menü **126** auf dem Bildschirm **124** die Komponentenart, die dem Verwindungskorrekturvorgang unterzogen wird, ausgewählt wird. Lediglich zu Beispielszwecken veranschaulicht die [Fig. 9](#), dass eine Erststufen-Niederdruckturbinenschaufel als die Komponente, deren Verwindung korrigiert werden soll, ausgewählt worden ist.

[0032] (Wie vorstehend erwähnt, ist das System **10** nicht auf Niederdruckturbinenlaufschaufeln beschränkt, so dass es im Zusammenhang mit vielen anderen Komponenten verwendet werden kann). Zu diesem Zeitpunkt sollte der Bediener überprüfen, dass die zu der ausgewählten Komponente zugehörigen Klauen in der unteren und der oberen Einspannvorrichtung **44**, **50** eingebaut sind. Wenn die geeigneten Klauen nicht eingebaut sind, sollten sie eingesetzt werden, bevor weiter vorgegangen wird.

[0033] Der Bediener wählt anschließend den Knopf „System rücksetzen“ **128** auf dem Steuerungsbildschirm **124** aus, was das System **10** veranlasst, eine Ausgangspositionssuche durchzuführen. (In einer Ausführungsform ist der Steuerungsbildschirm **124** als ein Berührungsbildschirm konfiguriert, so dass ein Bediener oder eine Bedienerin einen Knopf „auswählt“, indem er bzw. sie mit seinem oder ihrem Finger auf diesen drückt. Alternativ könnte der Steuerungsbildschirm **124** derart konfiguriert sein, dass eine „Auswahl“ eines Knopfes ein Anklicken des Knopfes mit einer Zeigervorrichtung, beispielsweise einer Maus, aufweist). Insbesondere wird der Schlitten **46** aufwärts bewegt und die untere Einspannvorrichtung **44** gedreht. Wenn diese Elemente zu einem Stillstand kommen, erkennt die Steuerungseinrichtung **56** ihre Positionen als die „Ausgangspositionen“.

[0034] Der Bediener wählt dann den Knopf „Klemmen“ **130** aus, um die erste und die zweite Klaue **72**, **74** der unteren Einspannvorrichtung **44** voneinander wegzubewegen oder zu öffnen. Der Knopf „Klemmen“ **130** funktioniert wie ein Kippschalter, so dass die Pneumatikzylindereinheit **70** betätigt wird, um die erste und die zweite Klaue **72**, **74** jedes Mal zu öffnen

oder zu schließen, wenn der „Klemmen“-Knopf **130** ausgewählt wird. Wenn die erste und die zweite Klaue **72**, **74** geöffnet sind, wird eine Kalibrierungslaufschaufel eingesetzt, wobei ihr Schwalbenschwanz zwischen der ersten und der zweiten Klaue **72**, **74** positioniert ist. Die Kalibrierungsschaufel ist derart orientiert, dass ihre konvexe Seite nach außen weist. Der Bediener wählt den Knopf „Klemmen“ **130**, um die Klauen **72**, **74** zu schließen und die Schaufel in der unteren Einspannvorrichtung **74** zu klemmen, und überprüft, dass die Kalibrierungslaufschaufel richtig eingesetzt ist. Danach wird der Knopf „Tasterkalibrierung“ **132** ausgewählt, um die Systemkalibrierung einzuleiten. Der Schlitten **46** bewegt sich zuerst nach oben und anschließend nach unten, so dass die obere Einspannvorrichtung **50** an der Kalibrierungslaufschaufel angreift. Die untere Einspannvorrichtung **44** dreht sich anschließend aus ihrer Ausgangsposition heraus um ein vorbestimmtes Maß. Der Messtaster **120** fährt dann aus, um mit der Kalibrierungslaufschaufel in Kontakt zu kommen, um diese Position zu erfassen und zu kalibrieren. Wenn der Kalibrierungsvorgang endet, fährt der Schlitten **46** automatisch ein. Der Bediener wählt den Knopf „Klemmen“ **130** aus, um die erste und die zweite Klaue **72**, **74** zu öffnen, und nimmt die Kalibrierungslaufschaufel heraus. Das System **10** ist nun dazu eingerichtet, eine Verwindungskorrekturarbeit an Komponenten der ausgewählten Art durchzuführen. Ein vollständiges Rücksetzen des Systems und eine Kalibrierung werden jedes Mal durchgeführt, wenn das System **10** eingeschaltet bzw. hochgefahren wird. Außerdem wird dieser Prozess wiederholt, wenn das System **10** zur Verwindungskorrektur einer Komponente einer anderen Art verwendet werden soll.

[0035] Um einen Verwindungskorrekturvorgang durchzuführen, wird eine zu reparierende Laufschaufel in das System **10** in ganz genau der gleichen Weise eingebracht, wie die Kalibrierungslaufschaufel eingebracht worden ist. Wenn die erste und die zweite Klaue **72**, **74** geöffnet sind, schiebt der Bediener den Schaufelschaft **16** in eine Position zwischen den Klauen **72**, **74**. Die Laufschaufel **12** ist derart ausgerichtet, dass die konvexe Seite **22** nach außen weist. Der Bediener wählt anschließend den Knopf „Klemmen“ **130** aus. Die Pneumatikzylindereinheit **70** veranlasst die Klauen **72**, **74**, sich zu schließen und die Laufschaufel in der unteren Einspannvorrichtung **44** zu klemmen. Der Bediener sollte zu diesem Zeitpunkt überprüfen, um sicherzustellen, dass die Laufschaufel **12** ordnungsgemäß eingesetzt und gesichert ist.

[0036] Mit der eingesetzten Laufschaufel **12** kann der Verwindungskorrekturvorgang gestartet werden. Das System **10** ist in der Lage, in einem kontinuierlichen, automatischen Modus oder in einem manuellen Modus zu arbeiten. Für einen kontinuierlichen Betrieb wählt der Bediener den „Autoverwindungs“-Knopf **134** auf dem Steuerungsbildschirm

124 aus. Als Reaktion darauf veranlasst die Steuerungseinrichtung **56** den Motor **102**, die Spindel **98** zu drehen, so dass der Schlitten **46** die obere Einspannvorrichtung **50** mit dem Deckband **26** der Laufschaufel in Eingriff bewegt. Insbesondere ist die obere Klaue **110** mit dem Laufschaufeldeckband **26** verbunden, während der fest angebrachte Taster **118** der Messtastereinheit **116** mit der konvexen Seite **22** des Schaufelblattes in Kontakt steht. Der Messtaster **120** wird anschließend mit der konvexen Seite **22** in Berührung gebracht, so dass der momentane Verwindungswinkel der Laufschaufel **12** gemessen werden kann. Die Steuerungseinrichtung **56** berechnet aus diesem Messwert, wie weit die Laufschaufel **12** verwunden bzw. verspannt werden muss, um den gewünschten Verwindungswinkel zu erreichen. Der Drehmotor **88** wird aktiviert, um die untere Einspannvorrichtung **44** zu drehen und die Laufschaufel **12** entsprechend zu verwinden. Die letzten beiden Schritte werden wiederholt, bis der gewünschte Verwindungswinkel erhalten wird. Wenn dieser Zyklus beendet ist, wird der Schlitten **46** in seine Ausgangsposition eingefahren. Der Bediener wählt den Knopf „Klemmen“ **130** aus, um die unteren Klauen **72**, **74** zu öffnen, und nimmt die nun reparierte Laufschaufel **12** heraus. Das System **10** ist bereit, um die nächste Laufschaufel aufzunehmen, deren Verwindung korrigiert werden soll.

[0037] Das System **10** ist ferner in der Lage, als eine Alternative zu dem automatischen Modus in einem manuellen Modus zu arbeiten. In diesem Fall wählt der Bediener den Knopf „Manuell“ **136** aus, der auf dem Steuerungsbildschirm **124** angeordnet ist. Dies führt dazu, dass eine Box **138** für den manuellen Betrieb (wie sie in [Fig. 10](#) veranschaulicht ist) auf dem Monitor der Steuerungseinrichtung **56** angezeigt wird. In dem manuellen Modus vorzunehmende Operationen, wie Abtasten, Klemmen und Abspannen bzw. Freigeben, werden eingeleitet, indem die geeigneten Boxen aus den beiden Spalten derartiger Boxen auf der linken Seite der Box **138** für den manuellen Betrieb ausgewählt werden. Für eine Steuerung der Drehbewegung der unteren Einspannvorrichtung **44** und eine Steuerung der Linearbewegung des Schlittens **46** gibt der Bediener den gewünschten Winkelwert und den vertikalen Abstandswert in die Fenster **140**, **142** für die erste bzw. zweite Bewegungssteuerung auf der rechten Seite der Box **138** für den manuellen Betrieb ein. Der Bediener wählt dann den „OK“-Knopf **144** aus, um die gewünschte Bewegung zu bewirken.

[0038] Abgesehen von der Durchführung der Verwindungskorrekturvorgänge kann das System **10** auch dazu verwendet werden, einfach eine Überprüfung eines Winkels der Laufschaufel **12** vorzunehmen. Erneut beziehungsweise auf [Fig. 9](#) wird dies bewerkstelligt, indem der Knopf „Winkelprüfung“ **146** ausgewählt wird, der auf dem Steuerungsbildschirm

124 erscheint. Als Reaktion darauf bewegt der Schlitten **46** die obere Einspannvorrichtung **50** in Eingriff mit dem Laufschaufeldeckband **26**. Der Messtaster **120** wird anschließend mit der Laufschaufel **12** in Kontakt gebracht, um den momentanen Verwindungswinkel der Laufschaufel zu messen. Der gemessene Winkel wird in dem Fenster „momentaner Winkel“ **148** des Steuerungsbildschirms **124** angezeigt.

[0039] Der Steuerungsbildschirm **124** enthält einen Knopf „Verwindungsdaten“ **150**. Eine Auswahl des „Verwindungsdaten“-Knopfes **150** führt dazu, dass durch die Steuerungseinrichtung **56** eine (nicht veranschaulichte) Eingabebildschirmdarstellung angezeigt wird. Der Eingabebildschirm ermöglicht dem Bediener, die Verwindungsdaten der Laufschaufel zu editieren und/oder zu aktualisieren. Es können solche Daten, wie der Verwindungsreferenzwinkel, die Winkeltoleranz, der Verwindungswinkelbereich (d.h. der Betriebsbereich für das System **10**) sowie die vertikale Position und die Verwindungsposition des Tasters eingegeben werden.

[0040] Wenn sämtliche Verwindungskorrekturarbeiten beendet worden sind, wählt der Bediener den „Ende“-Knopf **152** auf dem Steuerungsbildschirm **124** aus, um die Auto-Twist-Softwareanwendung zu schließen. Die Steuerungseinrichtung **56** kann dann abgeschaltet bzw. heruntergefahren werden. Schließlich schaltet der Bediener das System **10** über den Netzschalter **54** aus.

Patentansprüche

1. System (**10**) zur Korrektur der Verwindung in Schaufelblattkomponenten (**12**), die einen Verwindungswinkel aufweisen, wobei das System (**10**) aufweist:

- eine erste Einspannvorrichtung (**44**) zur Halterung eines ersten Endes der Schaufelblattkomponente (**12**);
- eine Drehantriebseinheit (**76**) zur Drehung der ersten Einspannvorrichtung (**44**) um eine Achse (**14**); und
- eine zweite Einspannvorrichtung (**50**) zur Halterung eines zweiten Endes der Schaufelblattkomponente (**12**), wobei die zweite Einspannvorrichtung (**50**) mit der ersten Achse ausgerichtet ist; gekennzeichnet durch

- einen Schlitten (**46**), der in der Lage ist, sich linear in Bezug auf die erste Einspannvorrichtung (**44**) zu bewegen, wobei die zweite Einspannvorrichtung (**50**) an dem Schlitten (**46**) montiert ist;
- eine Einrichtung, die zur Messung des Verwindungswinkels der ersten Schaufelblattkomponente (**12**) dient und einen Kontaktmessfühler (**52**) enthält, der an dem Schlitten befestigt ist; und
- eine Einrichtung (**56**) zur Steuerung der Drehantriebseinheit (**76**) in Abhängigkeit von der Messeinrichtung, um einen gewünschten Verwindungswinkel zu erhalten.

2. System (10) nach Anspruch 1, wobei die Drehantriebseinheit (76) einen Adapter (96), der mit der ersten Einspannvorrichtung (44) in Verbindung steht, und einen Motor (88) enthält, der mit dem Adapter (96) antriebsmäßig gekoppelt ist.

3. System (10) nach Anspruch 2, die ferner eine Untersetzungseinheit (86) aufweist, die zwischen dem Adapter (96) und dem Motor (88) eingekoppelt ist.

4. System (10) nach Anspruch 2, die ferner eine Drehmomenterfassungsvorrichtung (90) aufweist, die zwischen dem Adapter (96) und dem Motor (88) eingekoppelt ist.

5. System (10) nach einem beliebigen vorhergehenden Anspruch, das ferner eine Spindel (98), die benachbart zu dem Schlitten (46) drehbar montiert ist, einen Motor (102), der mit der Spindel (98) antriebsmäßig gekoppelt ist, und eine Mutter (104) aufweist, die durch Verschraubung an der Spindel (98) montiert ist, wobei die Mutter (104) an dem Schlitten (46) befestigt ist.

6. System (10) nach Anspruch 1, wobei die erste Einspannvorrichtung (44) enthält:
eine Grundplatte (60);
einen ersten und einen zweiten Trägerblock (62, 64), die an der Grundplatte (60) montiert sind;
einen Gleitklotz (68), der an dem ersten Trägerblock (62) verschiebbar montiert ist;
eine Pneumatikzylindereinheit (70), die an dem ersten Trägerblock (62) montiert ist, wobei die Pneumatikzylindereinheit (70) mit dem Gleitklotz (68) verbunden ist, um den Gleitblock (68) in Bezug auf den zweiten Trägerblock (64) zu bewegen;
eine zweite Klaue (74), die durch den zweiten Trägerblock (64) in Nebeneinanderstellung mit der ersten Klaue (72) gehalten ist.

7. System (10) nach Anspruch 6, wobei die erste und die zweite Klaue (72, 74) austauschbar sind.

8. System (10) nach Anspruch 1, wobei die zweite Einspannvorrichtung (50) eine Klauenhalterung (108) und eine Klaue (110) enthält, die an der Klauenhalterung (108) befestigt ist.

9. System (10) nach Anspruch 8, wobei die Klaue (110) austauschbar ist.

10. Verfahren zur Korrektur der Verwindung einer Schaufelblattkomponente (12), die einen Verwindungswinkel aufweist, wobei das Verfahren aufweist: Klemmen eines ersten Endes einer Schaufelblattkomponente (12) mit einer ersten Einspannvorrichtung (44) und Halten eines zweiten Endes der Schaufelblattkomponente (12) mit einer zweiten Einspannvorrichtung

(50); gekennzeichnet durch

Verwendung eines Schlittens (46), der in Bezug auf die erste Einspannvorrichtung linear bewegbar ist, wobei die zweite Einspannvorrichtung (50) an dem Schlitten (46) montiert ist;

Messung des Verwindungswinkels der Schaufelblattkomponente unter Verwendung eines Kontaktmessfühlers (52), der an dem Schlitten (46) montiert ist; Zuführung des gemessenen Verdrehungswinkels zu einer Steuerungseinrichtung (56);

Verwendung der Steuerungseinrichtung (56) zur Berechnung, wie weit die Schaufelblattkomponente verwunden werden muss, um einen gewünschten Verwindungswinkel zu erreichen; und

Drehung der ersten Einspannvorrichtung (44), um die Schaufelblattkomponente (12) zu dem gewünschten Verwindungswinkel zu verwinden, wobei eine Drehung der ersten Einspannvorrichtung (44) durch die Steuerungseinrichtung (56) gesteuert ist.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

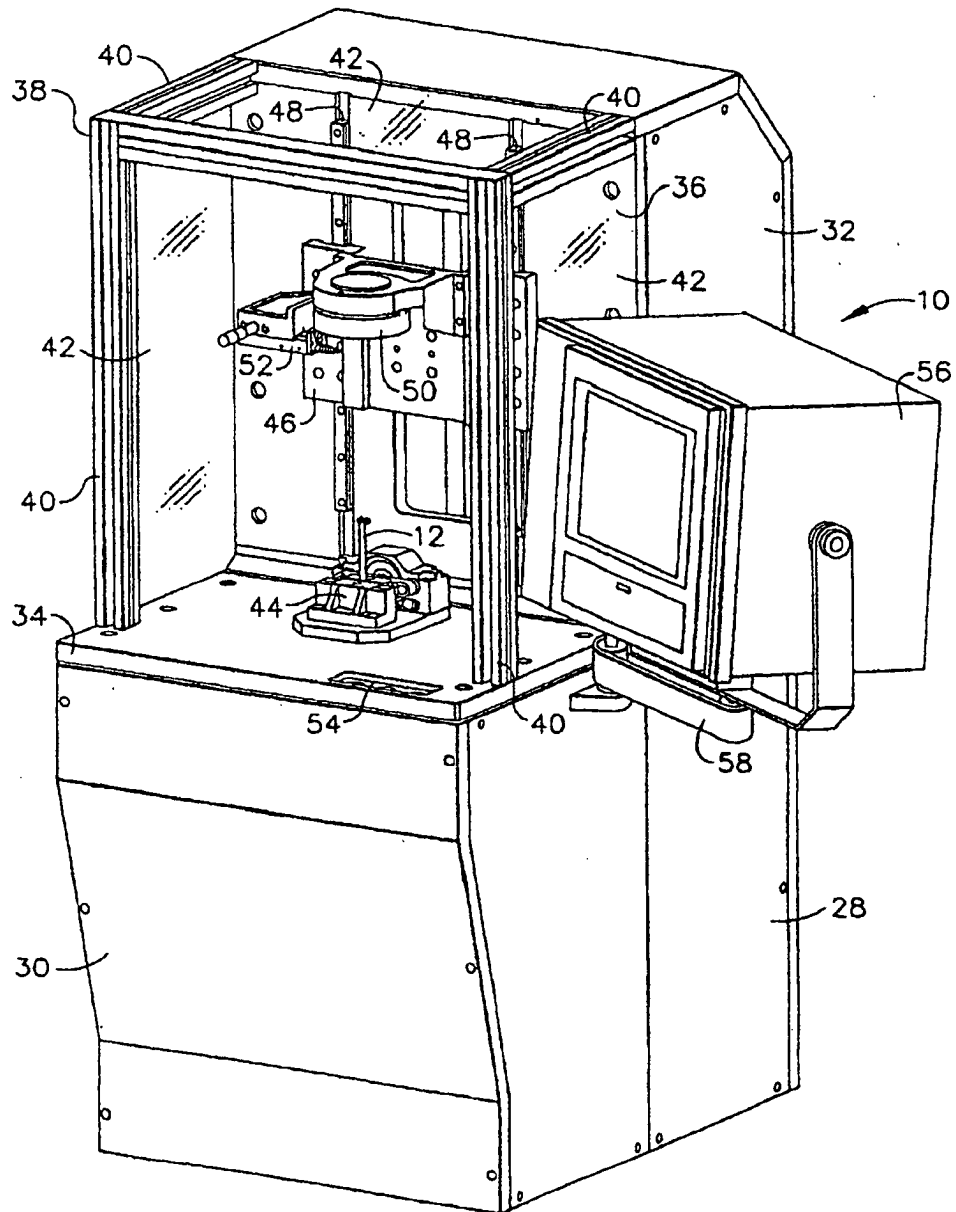


FIG. 1

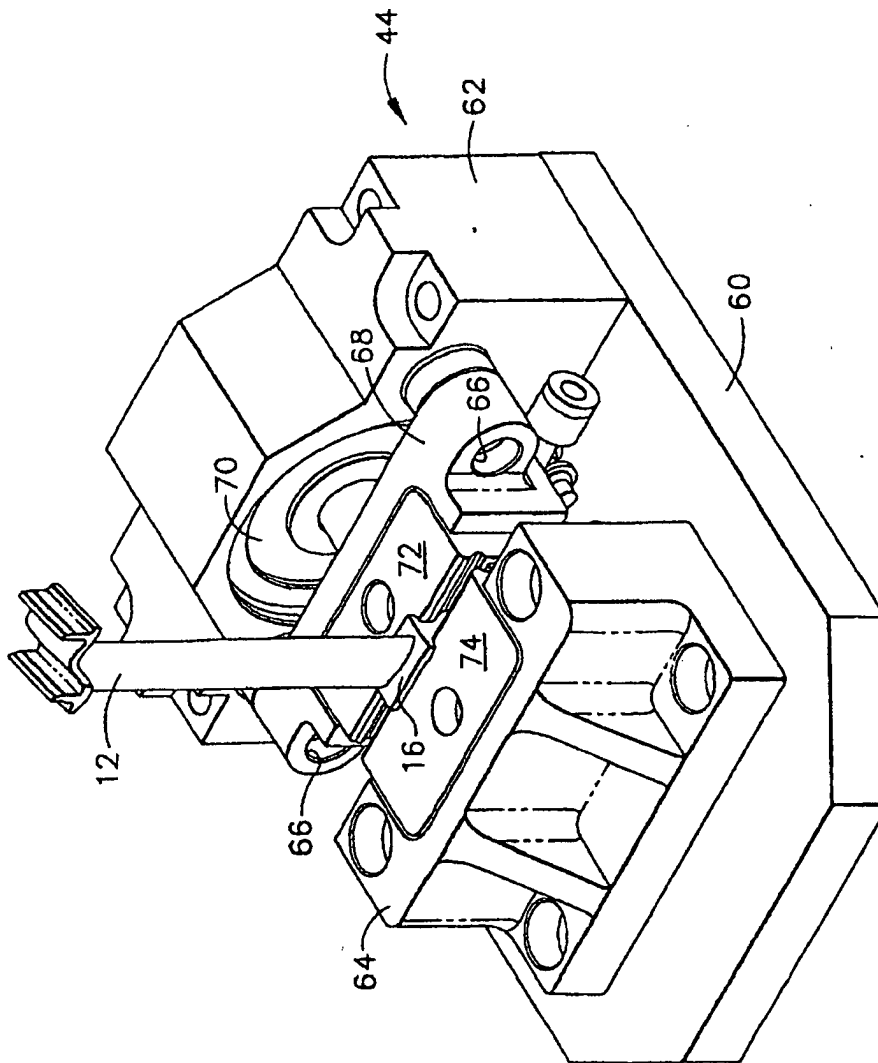


FIG. 3

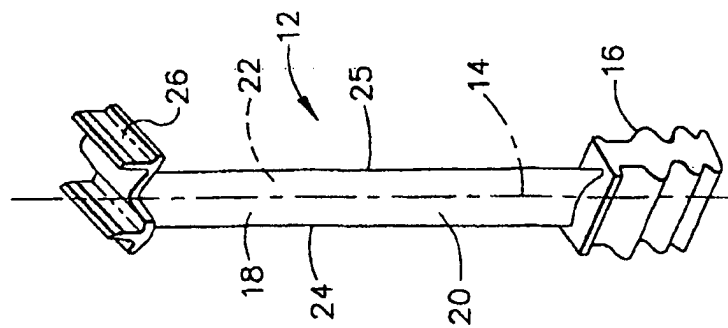


FIG. 2

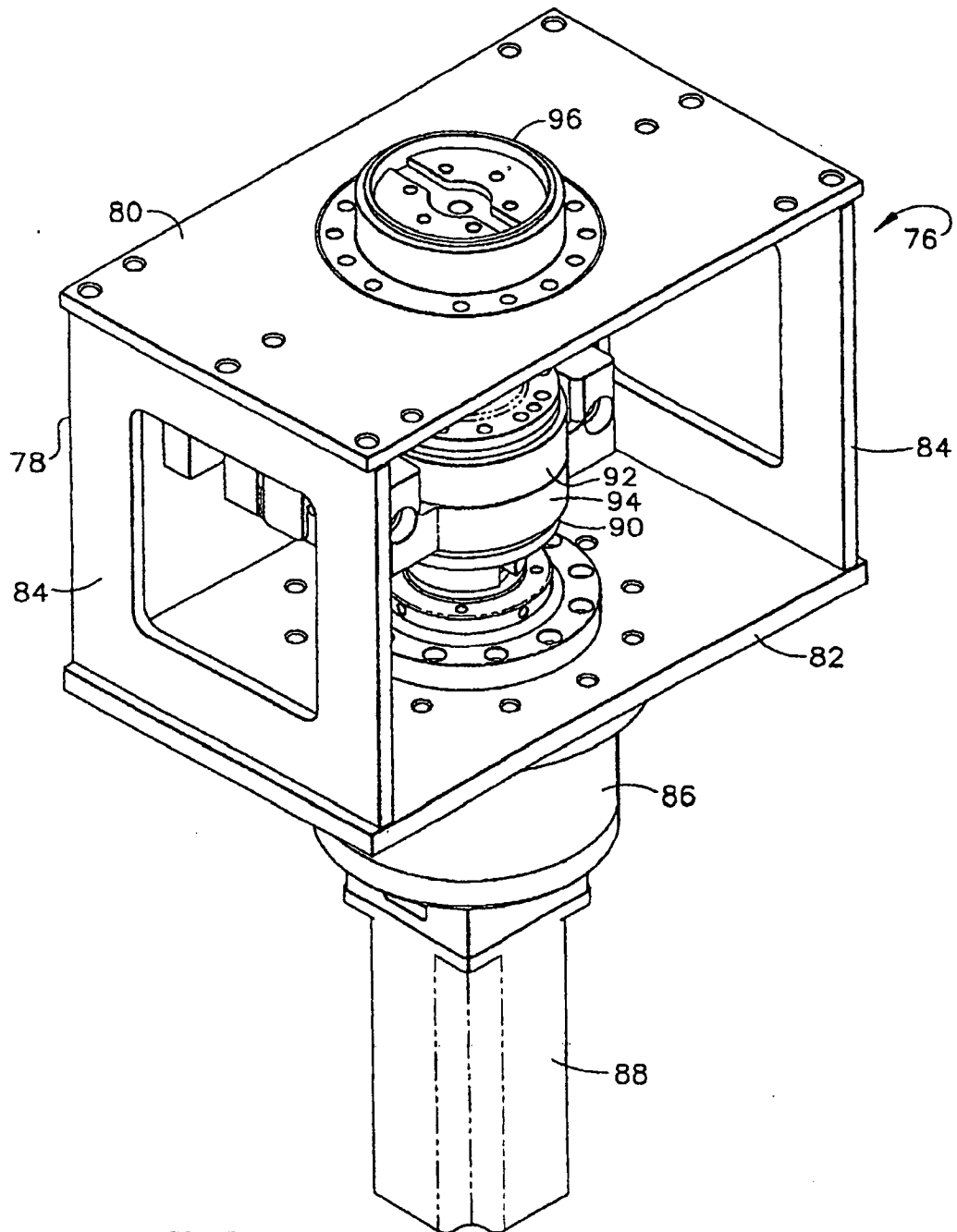


FIG. 4

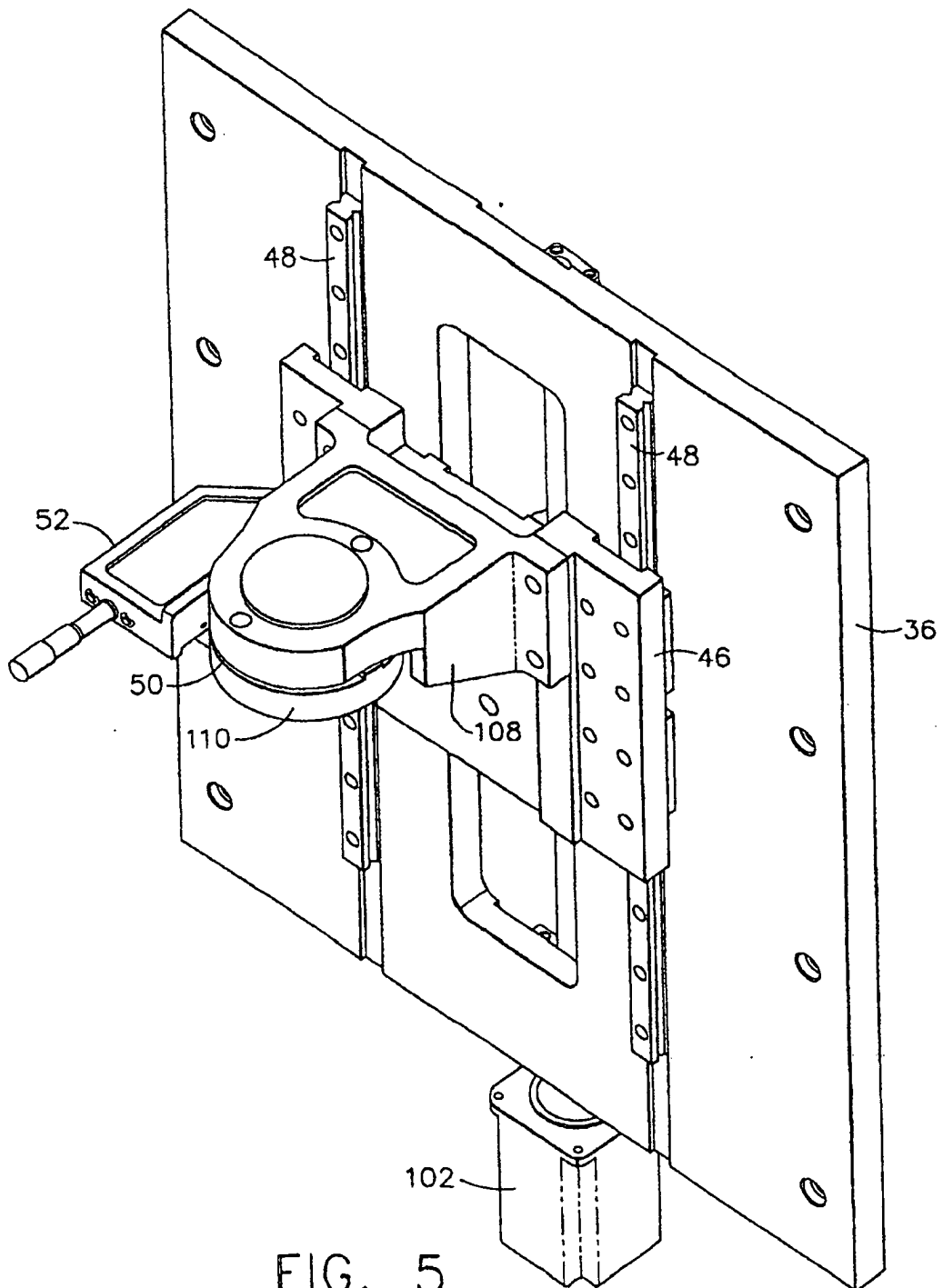


FIG. 5

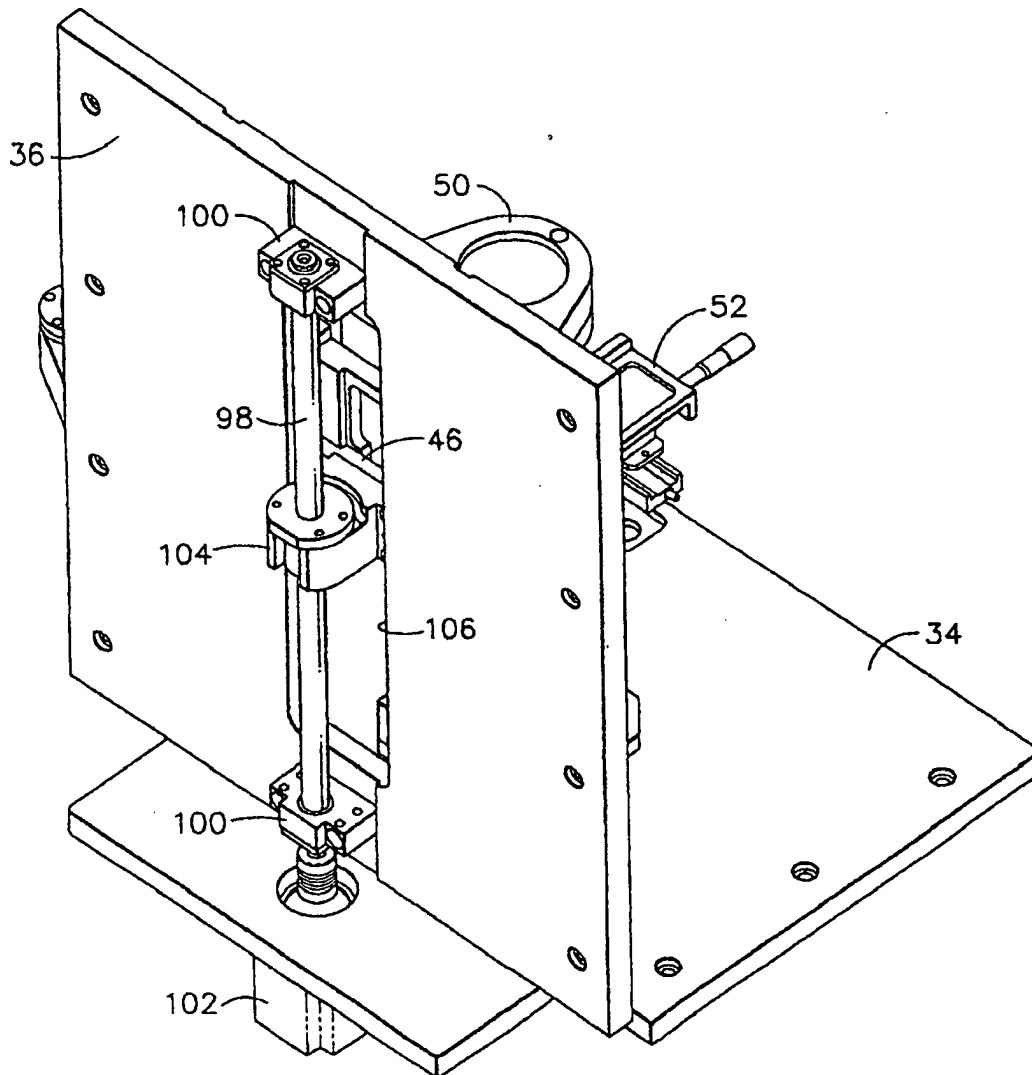


FIG. 6

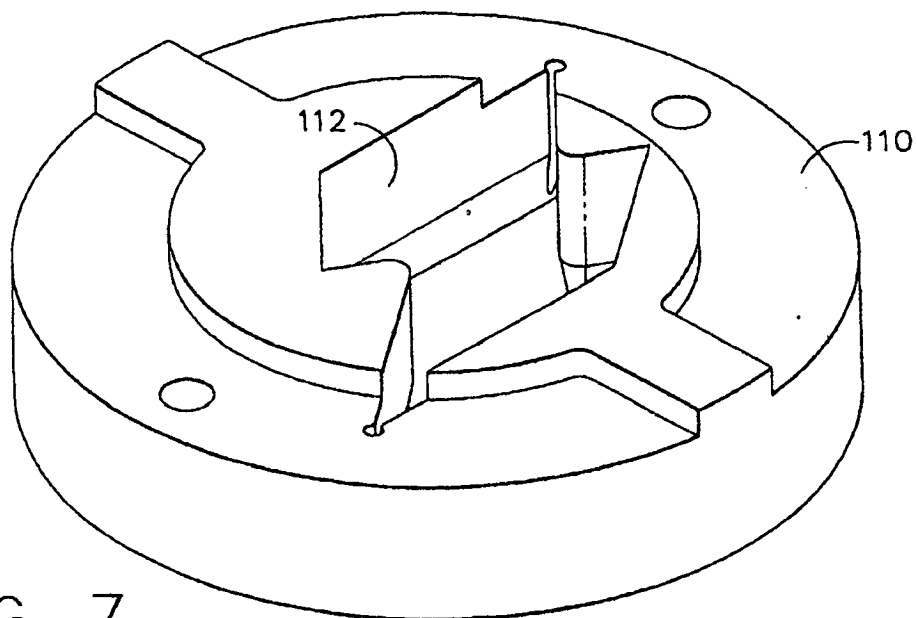


FIG. 7

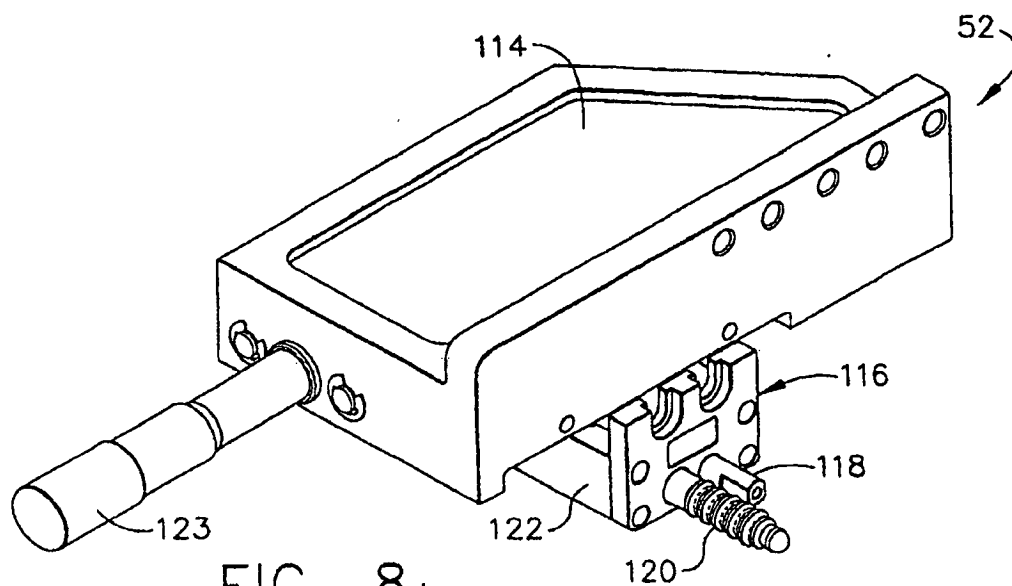


FIG. 8

The screenshot shows a software window titled "Automatisches Verwindungssystem". It contains several input fields and buttons. At the top, there is a dropdown menu labeled "Verwindungsprozess" (126) with the value "XXXXX -X/X NDT Stf. 1". To its right are buttons "Klemmen" (130) and "Auto-Verw." (134). Below these are four input fields: "Zyklus" (0), "momentanes Drehmoment" (0), "momentaner Winkel" (0) (148), and "Winkelref." (-17.07). A large empty rectangular box is below the "Zyklus" and "momentanes Drehmoment" fields. To the right of this box is a label "Schaufelmaterialfaktor" with a radio button selection showing "OVS OS OM OH OVH", where "OM" is selected (146). Below the radio buttons are four buttons: "Manuell" (136), "Verw.daten" (150), "Winkelprüfg." (146), and "Syst. rücksetz." (128). At the bottom, there are input fields for "Verw.-Winkel" (0), "Nachverw." (0), and "Datengruppe" (0). Below these are "Tasterkal." (132), "Tasterref." (6.462), and a large "Ende" button (152).

FIG. 9

The screenshot shows the same software window, but with the "Auto-Verw." tab closed and the "Manueller Betrieb" tab active. On the left, there is a table of input/output options:

Eingabe	Ausgabe
<input type="checkbox"/> Klemmen	<input type="checkbox"/> Tester
<input type="checkbox"/> Start	<input type="checkbox"/> Klemmen
<input type="checkbox"/> Ein 3	<input type="checkbox"/> Aus 3
<input type="checkbox"/> Luftvers.	<input type="checkbox"/> Aus 4
<input type="checkbox"/> Sensor	<input type="checkbox"/> Aus 5
<input type="checkbox"/> Ein 6	<input type="checkbox"/> Aus 6
<input type="checkbox"/> Ein 7	<input type="checkbox"/> Aus 7
<input type="checkbox"/> Ein 8	<input type="checkbox"/> Aus 8

To the right of this table is a section titled "Bewegungssteuerung" (138) containing two input fields (140 and 142) and two buttons: "Drehen" and "Auf/Ab". Below this section are two buttons: "Aktualisieren" and "OK" (144).

FIG. 10