



(19)
 Bundesrepublik Deutschland
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2006 041 383 B4** 2008.07.03

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 041 383.0**
 (22) Anmeldetag: **29.08.2006**
 (43) Offenlegungstag: **20.03.2008**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **03.07.2008**

(51) Int Cl.⁸: **F03D 1/06** (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
**EUROS Entwicklungsgesellschaft für
 Windkraftanlagen mbH, 13088 Berlin, DE**

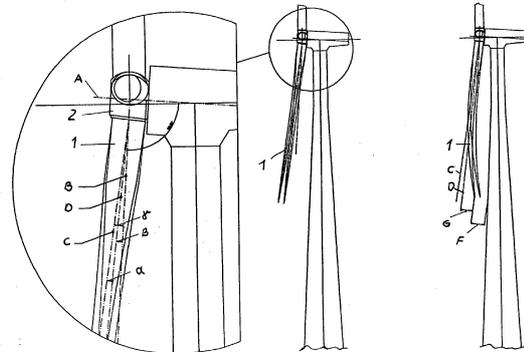
(74) Vertreter:
**Kietzmann, M., Dipl.-Ing. Faching. f.
 Schutzrechtswesen, Pat.-Anw., 10117 Berlin**

(72) Erfinder:
Kantelberg, Albrecht, 12435 Berlin, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:
DE 102 01 726 B4
DE10 2004 023774 A1
DE 296 12 720 U1
DE 698 28 420 T2
WO 01/42 647 A2

(54) Bezeichnung: **Windenergieanlage mit konusförmig angeordneten Rotorblättern**

(57) Hauptanspruch: Windenergieanlage mit konusförmig angeordneten Rotorblättern (1), die mit der Rotornabe (2) über eine Bolzenverbindung (7, 8) verbunden sind, dadurch gekennzeichnet, dass die Blattanschlussfläche (6) des Wurzelbereiches (4) des Rotorblattes (1) gegenüber der Blattachse (C) um einen Blattkonuswinkel α ($10^\circ \geq \alpha > 0^\circ$) geneigt ausgebildet ist, unter Beibehaltung einer senkrechten Stellung der Befestigungsbolzen (7, 8) für das Rotorblatt (1) gegenüber der Blattanschlussfläche (5) auf der Rotornabe (2) oder des Pitchlagers (3).



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Windenergieanlage mit einem Turm mit einer Gondel an der Spitze des Turmes und einem an der Gondel angeordneten Rotor mit einer Rotornabe und wenigstens einem Rotorblatt, das als Luv-Läufer betrieben wird, d. h., der Rotor befindet sich an der dem Wind zugewandten Seite des Turmes.

[0002] Um größere Rotorblätter wirtschaftlich fertigen zu können, werden permanent konstruktive Verbesserungen in die Entwicklung von Rotorblättern eingebracht. Die Ausnutzung der verwendeten Materialien hinsichtlich ihrer Belastbarkeit wurde erheblich gesteigert. Gleichzeitig sind die Blätter – um in entscheidenden Situationen Lasten zu reduzieren – in Relation zu ihrer zunehmenden Länge immer schlanker und damit auch dünner geworden.

[0003] Aufgrund dieser Tendenzen steigt die Flexibilität der Rotorblätter. Das an sich bekannte technische Problem, dass durch den auftretenden Wind die Rotorblätter zum Turm hin gebogen werden und insbesondere bei heftigen Windböen die Gefahr der Kollision eines Rotorblattes mit dem Turm besteht, wird dadurch verschärft. Dabei ist wenigstens eine Beschädigung oder sogar eine Zerstörung des Rotorblattes und/oder des Turmes möglich.

[0004] Aus dem Stand der Technik sind zur Lösung dieses Problems verschiedene Lösungsvarianten bekannt, die letztlich mit größeren baulichen Veränderungen entweder bei den Rotorblättern selbst und/oder den Anschlüssen der Rotorblätter an der Rotornabe verbunden sind.

[0005] Eine erste Lösungsvariante besteht darin, den Abstand der Rotornabe vom Turm zu vergrößern. Aufgrund der damit verbundenen mechanischen Belastungen, insbesondere von Biegebelastungen im Turm aus der großen Rotormasse, wird diese Variante ziemlich einhellig von der Fachwelt verworfen.

[0006] Ähnlich verhält es sich bei der Möglichkeit der Vergrößerung des Neigungswinkels der Rotorachse gegenüber der Horizontalen. Auch diese Maßnahme wird üblicherweise nur in bestimmten Grenzen verwendet, da durch die Achsneigung eine aerodynamische Unwucht erzeugt wird. Weiterhin verkleinert sich die wirksame Rotorfläche mit dem Achsneigungswinkel.

[0007] Ein weiteres Lösungsprinzip besteht darin, die Rotorblätter mit einer Vorkrümmung zu versehen. So ist es möglich, der Durchbiegung der Rotorblätter im Betrieb mit einer entgegengesetzten Krümmung im unbelasteten Zustand zu begegnen. Ein entsprechender Vorschlag ist aus der DE 698 28 420 T2 be-

kannt. Hier wird vorgeschlagen, dass die Flügel, die sich durch den Winddruck biegen können, sich von der Nabe in der senkrechten Ebene nach außen erstrecken und sich in einer Distanz von der Nabe zumindest entlang des äußeren Drittels der Flügel dann in nach außen und vorn gekrümmter Weise erstrecken.

[0008] Diese Maßnahme erhöht allerdings den Fertigungsaufwand erheblich. Zudem verschlechtert sich die Transportierbarkeit der Rotorblätter. Besonders für sehr große Rotorblätter ist dies ein entscheidendes Kriterium.

[0009] Aus der DE 296 12 720 U1 ist es zur Vermeidung einer Kollision der Rotorblätter mit dem Turm als eine weitere Variante bekannt, die Rotorblätter in einem sogenannten Konuswinkel anzuordnen. Der Konuswinkel wird durch die Längsachse des Rotorblattes und einer Normalebene gebildet, wobei sich die Normalebene von dem Schnittpunkt der Längsachse und der Rotordrehachse senkrecht zu der Rotordrehachse erstreckt. Über die technische Realisierung werden keine Ausführungen gemacht.

[0010] Diese Lösung wurde mit der DE 102 01 726 B4 dahingehend konstruktiv ausgestaltet, dass bei einem Zwischenstück zwischen Rotornabe und Rotorblatt die Flanschebenen einen spitzen Winkel (α) einschließen und das Zwischenstück derart an der Rotornabe angebracht ist, dass zwischen dem Rotorblatt und dem Turm ein zweiter spitzer Winkel (β) eingeschlossen ist. Die Realisierung dieses Vorschlages setzt ein speziell ausgebildetes Zwischenstück voraus, was ein wesentlicher Nachteil ist.

[0011] Auch die technische Lehre gemäß DE 10 2004 023 774 A1 basiert auf dem Prinzip, das Rotorblatt stumpfwinklig zur Rotordrehachse vom Turm weg geneigt ausgerichtet an der Rotorachse anzuordnen, wobei das Rotorblatt in mindestens einen Längsabschnitt gekrümmt zur Längsachse ausgebildet ist.

[0012] Der Vollständigkeit halber soll noch auf die WO 01/42 647 A2 verwiesen werden. In dieser Windkraftanlage finden bei der Befestigung der zylinderförmigen Wurzel der Rotorblätter an der Rotornabe T-Bolzen Verwendung, deren Querbolzen senkrecht zur Rotorblattachse angeordnet sind. Die zylinderförmige Wurzel besitzt eine Blattanschlussfläche, die senkrecht zur Rotorblattachse verläuft. Eine Ausstellung der Rotorblätter gegenüber einer vertikalen Rotorebene ist hier nur durch eine entsprechende Anordnung der Blattanschlussflächen auf der kugelförmigen Rotornabe erreichbar.

[0013] Aufgabe der Erfindung ist es, eine Möglichkeit zu eröffnen, bisher verwendete Blattanschlüsse bei einer Blattanschlussfläche rechtwinklig zum zylind-

drischen Blattwurzelbereich z. B. in Form einer T-Bolzen-Verbindung, derart zu modifizieren, dass eine Konusstellung der Rotorblätter zur Rotorachse erreicht wird. Insbesondere sollen die Anschlüsse an die Rotornabe unverändert bleiben.

[0014] Gelöst wird diese Aufgabe mit den Merkmalen des Anspruches 1, vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0015] Nicht oder nur teilweise vorgekrümmte Rotorblätter weisen eine Blattachse auf, die normalerweise die Mittelachse des zylindrischen Bereichs der Blattwurzel nahe des Blattanschlusses darstellt.

[0016] Üblicherweise ist die Blattanschlussfläche rechtwinklig zum zylindrischen Blattwurzel-Bereich ausgeführt. In diesem Fall fallen die Blattachse und die Pitchachse, die Drehachse, um die das Rotorblatt mit Blattwinkelverstellung gedreht wird, zusammen.

[0017] Es wird nun vorgeschlagen, die Blattanschlussfläche des Wurzelbereiches des Rotorblattes gegenüber der Blattachse um einen Blattkonuswinkel α ($10^\circ \geq \alpha > 0^\circ$) geneigt auszubilden, wobei eine senkrechte Stellung der Befestigungsbolzen für das Rotorblatt gegenüber der Blattanschlussfläche der Rotornabe bzw. des Pitchlagers beibehalten werden soll.

[0018] Im Arbeitszustand addieren sich damit der Nabenkonuswinkel und der Blattkonuswinkel zum Gesamtkonuswinkel γ . Der Turmfreigang wird somit vergrößert. In Fahnenstellung sind dagegen die Blätter nur mit dem Nabenkonuswinkel nach vorn geneigt, was die Vorpfeilung in diesem Zustand gering hält.

[0019] Diese Lösung weist eine Reihe von Vorteilen auf. Es kann ein zusätzlicher Konuswinkel und damit ein größerer Turmfreigang realisiert werden, ohne die Nabe ändern zu müssen. Der zusätzlich Konuswinkel ruft keine größere Vorpfeilung der Rotorblätter in der Fahnenstellung hervor. Die Pitchmomente werden reduziert, da sich das Blatt im durchgebogenen Zustand näher an der Pitchachse befindet.

[0020] Zur weiteren Reduzierung der Pitchmomente kann durch einen äquivalenten Winkel der Blattanschlussfläche in der Schwenkebene der Blätter eine leichte Pfeilung der Rotorblätter realisiert werden, wobei der geeignete Pfeilwinkel δ ($5^\circ \geq \delta > -5^\circ$) von der Blattgeometrie abhängig ist.

[0021] Ein Ausführung wird nachstehend erläutert. Es zeigen:

[0022] **Fig. 1** die Achsverhältnisse mit Blattkonuswinkel und

[0023] **Fig. 2** als Beispiel eine T-Bolzen-Verbindung und

[0024] **Fig. 3** Pfeilung der Rotorblätter.

[0025] **Fig. 1** zeigt einmal den Betriebszustand der Rotorblätter **1** im unbelasteten Zustand und einmal im belasteten Zustand. Im einzelnen ist die Lage der einzelnen Achsen gegenüber der Rotorebene B dargestellt sowie die sich daraus ergebenden Winkel. Rotorachse A schließt mit der Rotorebene B einen rechten Winkel ein. Der erfindungsgemäß vorgesehene Blattkonuswinkel α vergrößert den Nabenkonuswinkel β , so dass die Blattneigung gegenüber der Rotorebene sich als Gesamtkonuswinkel γ darstellt.

[0026] Im Betriebszustand bei belasteten und durchgebogenen Rotorblättern **1** ist erkennbar, dass ein größerer Turmfreigang (F) erreicht wird bei einem geringeren Abstand zur Pitchachse D, was zu einem kleineren Pitchmoment führt.

[0027] **Fig. 2** zeigt ein am Pitchlager **3** der Rotornabe **2** angeordnetes Rotorblatt **1**.

[0028] Der Blattkörper (Laminat) wird unverändert ausgeführt. Das Abschneiden bzw. Fräsen der Blattanschlussfläche **6** des zylindrischen Wurzelbereiches **4** des Rotorblattes **1** erfolgt unter dem gewünschten Blattkonuswinkel α ($10^\circ \geq \alpha > 0^\circ$). Das Bohren der Löcher für die Quer- und Dehnbolzen **7**, **8** erfolgt dann ausgerichtet an der Blattanschlussfläche **6** mit dem folgenden Ergebnis:

[0029] Der zylindrische Wurzelbereich **4** des Rotorblattes **1** ist gegenüber der Blattanschlussfläche **5** auf der Rotornabe **2** bzw. des Pitchlagers **3** um den gewünschten Winkel geneigt. Die Dehnbolzen **7** sind nicht parallel zur Blattachse, sondern parallel zur Pitchachse D ausgerichtet (Dehnbolzenachse H).

[0030] Der Abstand E zwischen den Querbolzen **8** und der gemeinsamen Ebene der Blattanschlussflächen **5** und **6** ist für alle Bolzen gleich.

[0031] Die Dehnbolzen **7** treten auf einem Lochkreis aus der Blattanschlussfläche **6** aus, der einen leicht verschobenen Mittelpunkt gegenüber der Blattanschlussfläche **6** hat. Dabei behalten die Dehnbolzen **7** ihre senkrechte Ausrichtung zur Blattanschlussfläche **6** des Wurzelbereiches **4** und zur Blattanschlussfläche **5** auf der Rotornabe **2** bei.

[0032] Das hat den Vorteil, dass die Rotornabe **2** gegenüber der Verwendung mit einem Rotorblatt **1** ohne Blattkonuswinkel α nicht verändert werden muss, da die Dehnbolzen **7** nach wie vor senkrecht zu den Blattanschlussflächen **5** und **6** mit dem gleichen Lochkreisdurchmesser aus dem Rotorblatt **1** heraus geführt werden. Der Fertigungsaufwand ist

nicht höher als zum Ausführen einer normalen üblichen T-Bolzen-Verbindung gebildet aus Quer- und Dehnbolzen **7, 8**. Es werden keine zusätzlichen Fertigungshilfsmittel benötigt.

[0033] In [Fig. 3](#) ist als Beispiel eine Vorpfeilung des Rotorblattes **1** in Arbeitsposition (Pitchwinkel nahe 0°) dargestellt, die durch eine nicht rechtwinklige Anordnung der Blattanschlussfläche **6** gegenüber der Rotorblattachse C erreicht wird. Vorzugsweise ist eine Pfeilung mit einem Pfeilwinkel δ ($5^\circ \geq \delta > -5^\circ$) als Vor- oder Nachpfeilung vorgesehen, um das Pitchmoment zu reduzieren.

Patentansprüche

1. Windenergieanlage mit konusförmig angeordneten Rotorblättern (**1**), die mit der Rotornabe (**2**) über eine Bolzenverbindung (**7, 8**) verbunden sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Blattanschlussfläche (**6**) des Wurzelbereiches (**4**) des Rotorblattes (**1**) gegenüber der Blattachse (C) um einen Blattkonuswinkel α ($10^\circ \geq \alpha > 0^\circ$) geneigt ausgebildet ist, unter Beibehaltung einer senkrechten Stellung der Befestigungsbolzen (**7, 8**) für das Rotorblatt (**1**) gegenüber der Blattanschlussfläche (**5**) auf der Rotornabe (**2**) oder des Pitchlagers (**3**).

2. Winenergieanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Befestigungsbolzen (**7, 8**) eine T-Bolzen-Verbindung mit Querbolzen (**8**) und Dehnbolzen (**7**) bilden, wobei die Bohrung für den Querbolzen (**8**) im Rotorblatt (**1**) parallel zur geneigt ausgebildeten Blattanschlussfläche (**6**) des Rotorblattes (**1**) verläuft und die Bohrung für den Dehnbolzen (**7**) dazu senkrecht.

3. Windenergieanlage nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass zur weiteren Reduzierung der Pitchmomente ein äquivalenter Pfeilwinkel δ der Blattanschlussfläche (**6**) in der Schwenkebene der Rotorblätter vorgesehen ist, wodurch eine leichte Pfeilung der Rotorblätter realisiert wird.

4. Windenergieanlage nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Pfeilwinkel $5^\circ \geq \delta > -5^\circ$ ist und eine Vor- oder Nachpfeilung realisiert.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

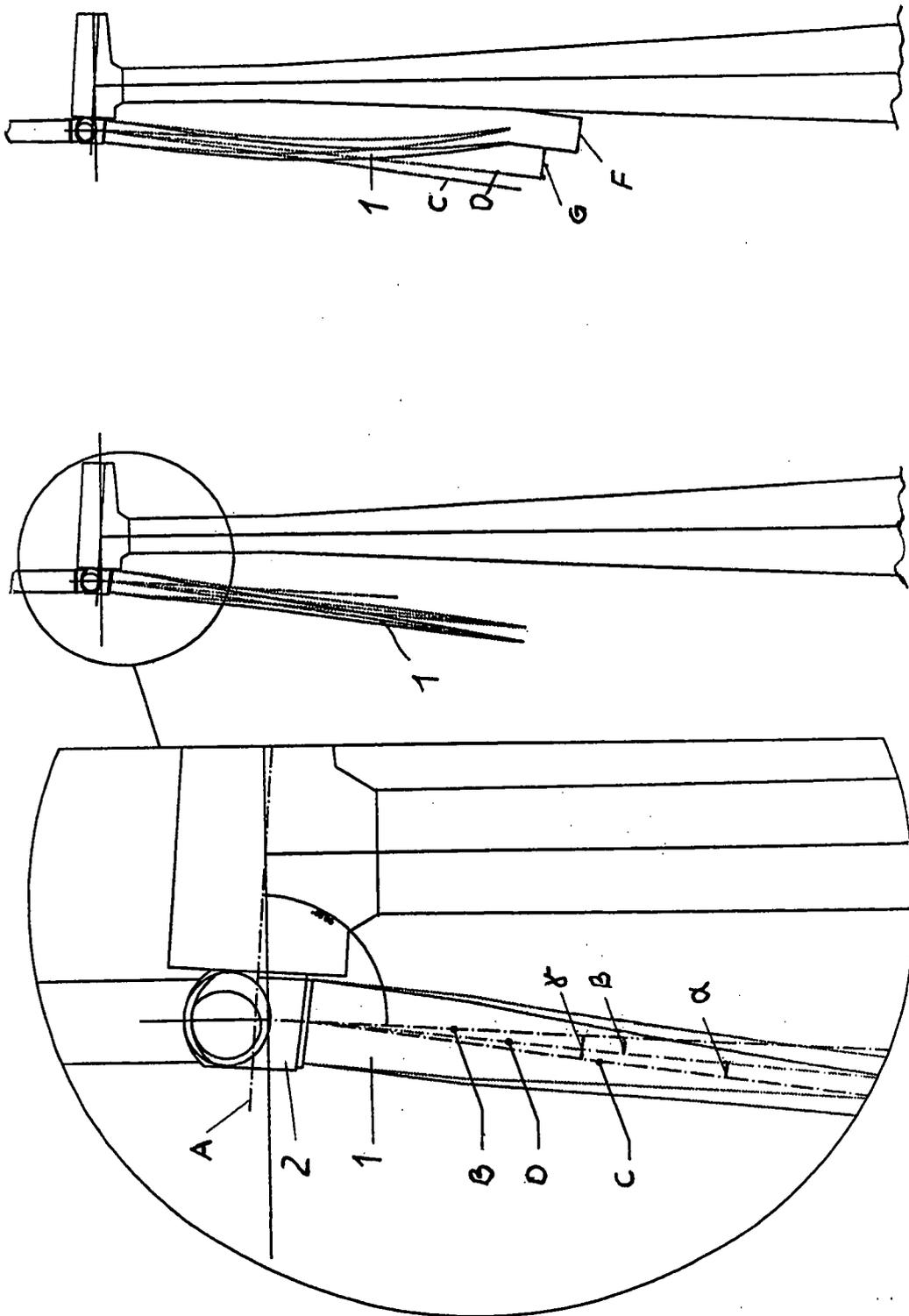


Fig. 1

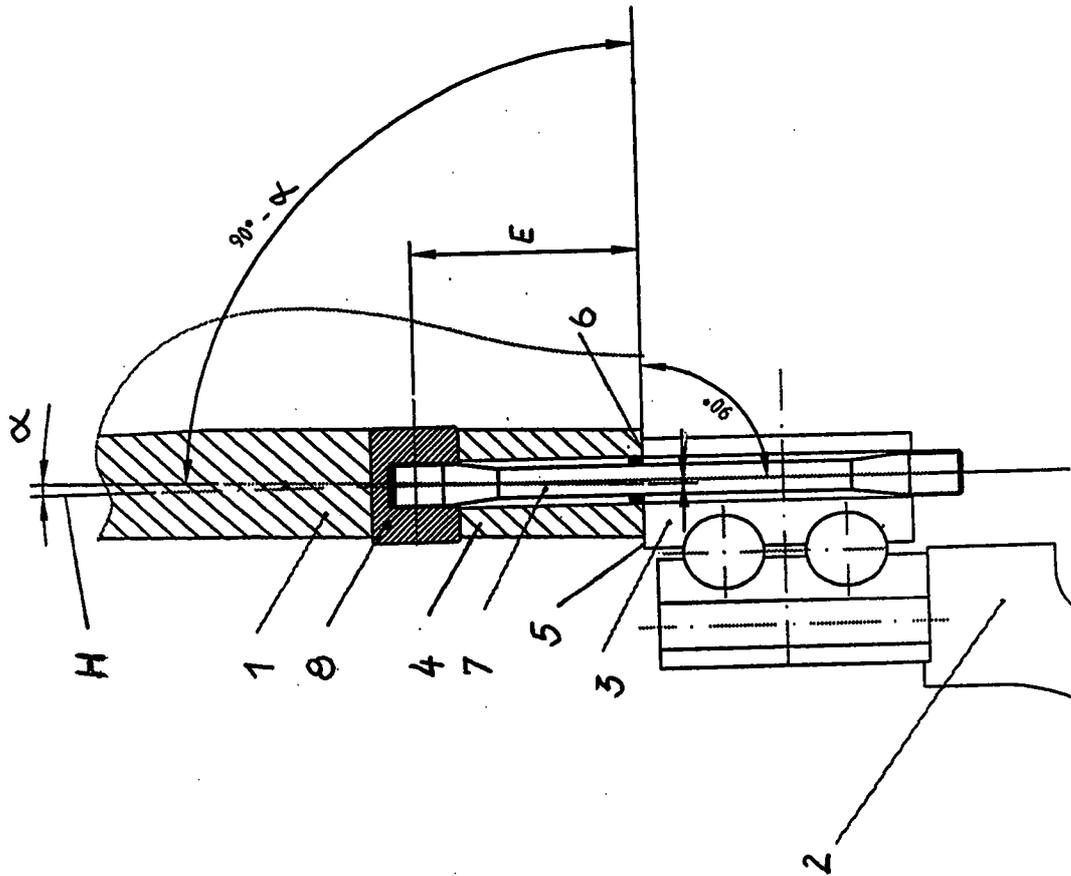


Fig. 2

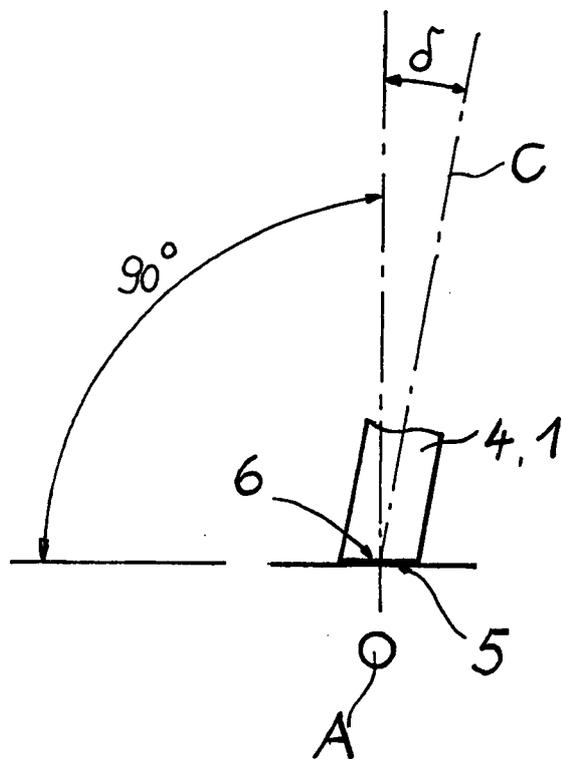


Fig. 3