

GFD Gesellschaft für Diamantprodukte mbH
139EP 1433

Invertierte Ankerhemmung

5 Die Erfindung betrifft eine Ankerhemmung für einen mechanischen Zeitmesser umfassend einen schwenkbaren Anker mit Ankerpaletten und ein mit einem Drehmoment beaufschlagbaren Ankerrad, das über seinen Außenumfang etwa radial nach außen gerichtete Zähne aufweist. Die vorderen Flanken der Paletten sind dabei so ausgebildet, dass sie bei jedem Kontakt, mit der vorderen Flanke der Zähne des Rades, immer mit der gleichen Kontaktfläche im Eingriff stehen.

10

Die Hemmung einer Uhr ist diejenige Baugruppe in Räderuhren, die die Verbindung zwischen dem Räderwerk und dem Gangregler herstellt. Sie besteht in der Regel aus dem Ankerrad und dem Hemmstück dem Anker. Der Gangregler bewirkt dabei über das in das Ankerrad eingreifende Hemmstück das periodische Anhalten (Hemmen) des Räderwerks und damit den regelmäßigen Gang der Uhr.

15

Im Stand der Technik sind dabei verschiedene Hemmungen vorgeschlagen worden. In der Zwischenzeit sind praktisch alle mechanischen Uhren mit dem gleichen Typ ausgerüstet, nämlich mit der sogenannten „Schweizer Ankerhemmung“. In einer „Schweizer Ankerhemmung“ umfassen die beiden Arme des Ankers je einen Ankerstein (Palette), die meist aus Rubin, Saphir oder Granat bestehen. Diese Ankersteine sind in den beiden Armen des Ankers entweder eingesetzt oder werden bei mikrotechnisch gefertigten Ankern also aus Silizium oder Diamant aus einem Stück zusammen mit dem Anker angefertigt. Die Ankersteine greifen abwechselnd in je einen Zahn des Hemmungsrades und halten es so fest.

Ankerrad und Anker befinden sich dann in Ruhe um sogleich beim Nulldurchgang der Unruh wieder beschleunigt zu werden. Jedes Mal, wenn die Unruh die Nulllage in der einen oder anderen Richtung passiert, greift sie über den sogenannten Hebelstein in die Ankergabel ein. Dadurch gibt der Anker über seine jeweilige Palette je einen Zahn des Hemmungsrades frei, das damit kurz vorrückt und einen winzigen Energiebruchteil über den Anker an den Hebelstein und damit die Unruh zurückführt. Bei der Kraftübertragung zwischen den Zähnen des Ankerrades und den Paletten des Ankers bewegen sich diese beiden Teile unter Druck gegeneinander. Zu Beginn der Bewegung liegt eine Palette an einer Fläche eines Ankerzahnades der sogenannten Ruhefläche an. Bei der Bewegung der Palette gegen das Ankerrad tritt eine Reibungskraft auf. Die Reibung zwischen den Paletten und dem Ankerrad kann jedoch die Ganggenauigkeit und die Lebensdauer eines Uhrwerks beeinflussen.

Ein typisches Ankerrad weist ca. 20 Zähne auf die auf dem Umfang äquidistant verteilt sind. Der Anker typischerweise 2 Paletten. Bei Jeder Umdrehung des Ankerrades wird jeder Kolbenzahn mit jeder Palette in Kontakt gebracht. Somit erfährt jede Palette des Ankers den n-fachen (mit n =Anzahl der Zähne des Rades) Verschleiß im Vergleich zu einem Kolbenzahn des Ankerrades. So führt insbesondere die Reibung zwischen den Zähnen des Ankerrades und den Paletten des Ankers zu einem Materialabtrag, also zu einem Verschleiß an den Kontaktflächen von Paletten und Ankerrad, wodurch die Ganggenauigkeit reduziert werden kann und die betreffenden Teile von Zeit zu Zeit ersetzt werden müssen. Dies ist auch der Grund weshalb die Paletten aus einem härteren Material, nämlich typischerweise aus Rubin, gefertigt sind.

Die Hemmung setzt etwa 60% der Energie des Uhrwerks um. Vor allem Rei-

bungsverluste als auch das ständige beschleunigen und Abbremsen von Rad und Anker sind für den niedrigen Wirkungsgrad verantwortlich. In der Vergangenheit wurde deshalb versucht das Trägheitsmoment des Rades zu minimieren. Dies wurde einerseits durch einen möglichst hohen Grad der Skelettierung (Entfernen von allen überflüssigen Volumenanteilen), sowie andererseits durch Realisierung eines möglichst dünnen Rades, erreicht (ca. 100µm). Als Konsequenz müssen die Ankerpalletten eine gewisse Mindestdicke aufweisen (z.B. 200µm), um noch ein sicheres Eingreifen des Rades in die Paletten zu gewährleisten.

5

10

Es hat deshalb nicht an Versuchen gefehlt, dieses Problem zu minimieren. So wird in der FR 1485813 vorgeschlagen, die Zähne von Hemmungsrädern abzuschrägen, um eine Kontaktfläche zwischen den Zähnen und den Ankerpalletten mit einer kleineren Breite zu erzeugen. Ferner wurde in der EP 1 622 826 B1 vorgeschlagen, andere Materialien, wie z.B. Silizium oder Diamant einzusetzen, welche aufgrund von höherer Härte und geringeren Reibkoeffizienten Vorteile gegenüber geschmierten Hemmungen haben sollen. Zur Verschleiß- und Reibungsminimierung werden bei konventionellen Hemmungen mit Stahllankerrad und Rubinpaletten zu dem obligatorisch Öle eingesetzt.

15

20

Die neuen Werkstoffe, Silizium und Diamant haben aber eine größere Härte als Stahl. Wenn diese Werkstoffe ohne Schmierung als Hemmbauteile eingesetzt werden, resultieren hieraus somit auch technische Probleme. Es zeigt sich nämlich, dass die Bauteile eine sogenannte Einlaufphase aufweisen.

25

Durch den Reibkontakt werden offensichtlich Mikrorauheiten auf der Oberfläche eingeebnet. Hierdurch reduziert sich der Gleitreibkoeffizient und in Konsequenz steigt die Amplitude der Unruh. Üblicherweise tritt vor dem Anstieg der Amplitude zunächst ein Abfall der Amplitude ein, der durch die Akkumulation von Fremdkörpern (z.B. Abrieb, Staub, organische Partikel, o.ä.), welche ähnlich dem Prinzip eines Schneepfluges aufgrund der bestehenden Oberflächenrauheit in die Oberfläche eingearbeitet werden und den Reibkoeffizient erhöhen. Um diesen Effekt zu vermeiden, wird im Stand der Technik gem. EP 2 107 434 vorgeschlagen, die Kontaktflächen der Zähne des Zahnrades so klein wie möglich auszugestalten. Gleiches gilt für den Abrieb, der ebenfalls auf der Oberfläche eingearbeitet werden kann. Dieser Effekt kann im schlimmsten Fall sogar zum Stillstand der Uhr führen. Um diesen Effekt zu

30

35

5 übergehen, werden derartige Bauteile im Stand der Technik aufgrund von phänomenologischen Beobachtungen meist einer Tauchschmierung unterzogen. Der verbleibende, dünne Ölfilm auf der Oberfläche verdampft mit der Zeit und ermöglicht eine nahezu konstante Unruhamplitude während der Einlaufphase. Aus diesem Grund werden beispielsweise Bauteile aus Silizium in einem Benzin/Öl Gemisch vor dem Einbau ins Uhrwerk getaucht.

10 Aus durchgeführten Untersuchungen geht hervor, dass die phänomenologisch beobachtete Einlaufphase ihre Ursache in der Einebnung einer mikroskopisch kleinen Rauheit hat. Da die neuen Materialien, insbesondere Diamant eine deutlich größere Härte als Stahl aufweisen, ist folglich auch eine längere Einlaufphase zu beobachten, da die nach der Bearbeitung verbleibende Mikro-
 15 rauheit langsamer eingeebnet wird. Im Fall von Diamant ist der Verschleiß sogar so gering, dass selbst bei sehr glatten Oberflächen (z.B. 20nm Rms, quadratische Rauheit, root-mean-squared-roughness) noch eine mehr als 100-tägige Einlaufphase zu beobachten ist. Um diese zu minimieren, kann beispielsweise eine weniger harte Schicht auf die Diamantoberfläche zusätzlich aufgebracht werden (siehe beispielsweise EP 2 236 455), die dafür Sorge trägt, dass die in Kontakt stehenden Reibflächen schneller glatt werden. Trotz Einsatz
 20 von solchen Schichten, beträgt die Einlaufphase dann immer noch ca. 40 Tage. Nachteilig ist hierbei, dass sich die Reibeigenschaften über einen längeren Zeitraum ändern und somit ein zuverlässiges und schnelles Reglage (einstellen der richtigen Ganggenauigkeit) der Uhr nicht möglich ist.

25 Typisch für den Einsatz von neuen Materialien und mikrotechnischer Fertigungsverfahren ist auch, dass die Funktionsflächen der Bauteile (die Seitenflanken) nie vollständig vertikal -bezogen auf die Ober und Unterseite des Bauteils- ausgerichtet werden können. Dies liegt an der aus der Halbleiterindustrie adaptierten Fertigungstechnik, bei der aus einer Platte (sog. Wafer)
 30 mittels Photolithographie und Trockenätzverfahren die Bauteile aus der Platte herausgeätzt werden. In Konsequenz können die Seitenflanken von Anker (insbesondere die Paletten) und Ankerrad (insbesondere die Kontaktflächen der Kolbenzähne) entweder planparallel oder entgegengesetzt angeordnet werden. Im 2. Fall ergibt sich aus dem typischen Aufbau der Hemmung mit
 35 dünnem Rad und dicker Ankerpalette, dass immer das Rad eine definierte Kontaktfläche aufweist, wie es auch in der EP 2 107 434 B1 beschrieben ist.

5 Unter definierter Kontaktfläche wird hier eine Kontaktfläche verstanden, die bei jeder Berührung der Bauteile im Kontakt steht. Diese ist aufgrund der nichtvertikalen Anordnung im Fall von Diamant sehr klein und weist die Form einer 2-4µm breiten Rechtecks auf. Diese Fläche wird auch geometrische Kontaktfläche A_0 genannt. Diese „Kontaktlinie“ greift etwa mittig in die Ankerpalette. Je nach Lage des Uhrwerks, bedingt durch das Lagerspiel der einzelnen Bauteile, verändert sich die relative Position von Anker und Rad, so dass sich auch die Kontaktfläche des Ankers relativ zum Rad verschiebt. Üblicherweise ist deshalb eine 30-50µm breite Verschleißzone auf dem Anker im
 10 Rasterelektronenmikroskop sichtbar. Die Kontaktzone des Rades hingegen, ist aufgrund der nichtvertikalen Anordnung unabhängig von der relativen Lage von Rad und Anker somit definitionsgemäß „definiert“ und steht unabhängig von der relativen Lage der Uhrwerkskomponenten zueinander immer in Kontakt. Bei allen klassischen Hemmungen hat somit immer die Ankerpalette die
 15 Einlaufphase dominiert, sodass diese deshalb aus dem härteren Werkstoff Rubin gefertigt wurde.

20 Ferner zeigte sich bei den Untersuchungen, dass die Einlaufphase durch die Kontaktflächen und deren Beschaffenheit dominiert wird. Betrachtet man die definierte, in Form eines Rechtecks ausgeprägte Kontaktfläche eines Kolbenzahnens, so stellt man fest, dass nur ein Bruchteil der geometrischen Kontaktfläche A_0 tatsächlich mit dem Gegenstück in Reibkontakt steht. Dies liegt an der mikroskopisch vorhanden nanoskaligen Oberflächenrauheit. Untersucht man den sogenannten Tragflächenanteil T der definierten Kontaktfläche, d.h. das Verhältnis von tatsächlich in Kontakt stehender Fläche A_R bezogen auf die geometrische Kontaktfläche A_0 so lassen sich zu Beginn der Einlaufphase Werte von $T=10\%-30\%$ und bei abgeschlossener Einlaufphase von mehr als 50% beobachten. Da nach Abschluss der Einlaufphase keine weitere Veränderung (Verschleiß, Abtrag) der Kontaktflächen beobachtet werden konnte, deutet
 25 viel darauf hin, dass sich ab diesem Zeitpunkt ein Tribofilm auf der Diamantoberfläche ausbilden kann, auf den die Reduktion des Gleitreibungskoeffizienten und damit der Amplitudenanstieg der Uhr zurückzuführen ist.
 30

35 Um eine möglichst kurze Einlaufphase zu erhalten, muss deshalb möglichst rasch ein Tragflächenanteil der definierten Kontaktfläche von mehr als 50% hergestellt werden. Dies kann einerseits über den Fertigungsprozess durch

eine Reduktion der Oberflächenrauheit erreicht werden, oder eben durch eine Erhöhung des Verschleißes der definierten Kontaktfläche.

5 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es deshalb, eine Ankerhemmung vorzuschlagen, die in Bezug auf die Reibung und Verschleiß zwischen den Zähnen des Zahnrades und den Paletten des Ankers gegenüber dem Stand der Technik deutlich verbessert ist, so dass die Ganggenauigkeit und die Lebensdauer eines Räderwerks einer Uhr verbessert werden kann und gleichzeitig auf lange
10 Einlaufphasen im schmierungsfreien Lauf verzichtet werden kann.

Die Aufgabe wird durch die gekennzeichneten Merkmale des Patentanspruches 1 gelöst. Die Unteransprüche zeigen vorteilhafte Weiterbildungen auf.

15 Erfindungsgemäß werden somit nun die definierten geometrischen Kontaktflächen A_0 durch eine veränderte geometrische Anordnung vertauscht, mit dem Ziel, die Kontaktfläche der Ankerpaletten zu fixieren (somit definierte Kontaktfläche) und die des Rades variabel zu halten. Grund für diese Anordnung ist, den Verschleiß des Ankers, entgegen aller bisherigen Lehren, zu beschleunigen, um die Dauer Einlaufphase zu reduzieren. Besitzt der Anker die
20 definierte geometrische Kontaktfläche A_0 , so muss diese Fläche zwangsläufig den n -fachen Verschleiß erfahren (mit n = Anzahl der Kolbenzähne des Rades). Erstaunlicherweise stellt sich exakt dieser Effekt ein und die Einlaufphase im Fall von Diamant verschwindet nahezu vollständig.

25 Die industrielle Umsetzung einer solchen invertierten Anordnung muss auch einen sicheren Eingriff von Rad und Anker ermöglichen. In Konsequenz muss das Rad, zumindest aber die Dicke des Kolbenzahnes deutlich dicker als die der Ankerpalette ausgeführt werden. Hieraus resultiert wiederum, dass das
30 Rad ein größeres Trägheitsmoment aufweist und damit der Wirkungsgrad der Hemmung sinkt. Vorteilhaft wirkt sich hier der Einsatz der neuen Materialien aus (Si, Diamant), die einerseits eine deutlich geringere Dichte als Stahl aufweisen und andererseits, im Fall von Diamant, ein sehr hohes Elastizitätsmodul (700 GPa-1100 GPa) bei gleichzeitig hoher Biegebruchspannung (1 GPa-10GPa) aufweisen. Letztere Parameter erlauben nämlich die Komponenten
35 noch stärker zu skelettieren, das Trägheitsmoment dadurch zu verringern und

damit den Wirkungsgrad der Hemmung wieder zu erhöhen. Die neuen Materialien haben aber eine deutlich geringere Dichte als metallische Werkstoffe und durch die neuen Bearbeitungsverfahren kann ein höherer Grad der Skelettierung erreicht werden. Bevorzugt beträgt die Dichte weniger als 4,5 g/cm³, besonders bevorzugt von 1-4 g/cm³. Ferner kann das Rad in einer sogenannten mehr Niveau Technik ausgeführt werden, wobei zunächst aus einer dickeren Platte (sogenannter Wafer) mittels Photolithographie und reaktivem Ionenätzen z.B. die Aussenkontur des Ankerradesherausgeätzt wird. Vorteilhaft ist hierbei, dass das Rad noch mit kleinen Stegen im verbleibenden Wafer gehalten wird, um nicht jedes Bauteil einzeln manipulieren zu müssen. In einem weiteren Schritt wird über einen weiteren Photolithographieschritt, welcher genau zum ersten Ätzschritt positioniert bzw. justiert wird, der innere Bereich des Zahnrades abgedünnt. Hierbei kann der zweite Schritt auch von der Rückseite des Wafers aus erfolgen. Ggf. kann dieser Schritt auch vor dem Freilegen der Aussenkontur des Ankerrades erfolgen. Beispiele für diese Technologie können u.a. aus www.Sigatec.ch entnommen werden.

Alle bisherigen Ansätze in der Uhrmacherei verfolgten grundsätzlich den Ansatz den Verschleiß zu minimieren sowie das Trägheitsmoment der Komponenten so klein wie möglich zu halten. Deshalb wurde das Ankerrad immer so dünn wie möglich ausgeführt. Überraschenderweise wurde nun festgestellt, dass es im Fall von harten Werkstoffen wie Diamant oder Silizium vorteilhafter ist, den Verschleiß gezielt zu stimulieren. Erfindungsgemäß wird somit vorgeschlagen, die Anordnung der Hemmung derart zu invertieren, dass der Anker die sogenannte definierte geometrische Kontaktfläche A_0 aufweist. Durch den Einsatz von Werkstoffen mit geringer Dichte und hoher mechanischer Festigkeit, kann nun das Ankerrad (oder zumindest die Kolbenzähne des Ankerrades) dicker ausgeführt werden als die Paletten des Ankers.

Gemäß der vorliegenden Erfindung ist es vorgesehen, dass die Dicke der Paletten 50 bis 180 μm und die Dicke der Zähne des Zahnrades 100 bis 500 μm betragen, wobei es vorteilhaft ist, die Dicke der Paletten kleiner ist als die Dicke der Zähne auszuführen. Erfindungsgemäß wird unter der Dicke jeweils der vertikale Abstand der Oberseite zur Unterseite des Zahnes bzw. der Palette verstanden.

Erfindungsgemäß ist, wie vorstehend dargelegt, die Flanke der Paletten so ausgebildet, dass bei jedem Kontakt mit der vorderen Flanke der Zähne des Rades immer die vordere Flanke der Paletten mit der gleichen geometrischen Kontaktfläche A_0 im Eingriff steht. Erfindungsgemäß sind dazu die vorderen Flanken der Paletten und die vorderen Flanken der Zähne, die eine Nicht-Vertikalität aufweisen, so zueinander angeordnet, dass eine symmetrische Nicht-Vertikalität (Freiwinkel α) von mindestens $0,5^\circ$, bevorzugt 1° , besonders bevorzugt 2° entsteht. Typisch sind dabei etwa 1° je Bauteilflanke. Es ist dabei auch nicht erforderlich, dass die jeweiligen Bauteile die gleiche Abweichung aus der Idealen aufweisen.

Bei einer derartigen erfindungsgemäßen Anordnung entstehen nun bei Betrieb der Hemmung, in Richtung der Relativbewegung, in den vorderen Flanken der Zähne, die schon vorstehend genannten definierten geometrischen Kontaktflächen A_0 in Form eines Bandes, die eine Breite von maximal $20\ \mu\text{m}$, bevorzugt bis zu $15\ \mu\text{m}$, besonders bevorzugt bis zu $10\ \mu\text{m}$, ganz besonders bevorzugt bis zu $5\ \mu\text{m}$ besitzen.

Diese geometrischen Kontaktflächen A_0 entstehen offensichtlich durch den Abrieb der rauen Bauteiloberflächen gegeneinander. Es hat sich nun gezeigt, dass neben der geometrischen Kontaktfläche A_0 beim Einlaufen der Hemmung sich dann noch eine weitere, und zwar eine reale Kontaktfläche A_R ausbildet, die nur eine Teilfläche der geometrischen Kontaktfläche A_0 ist. Es hat sich gezeigt, dass das Verhältnis der realen Kontaktfläche A_R zur geometrischen Kontaktfläche A_0 zwischen 20 und 90% liegt.

Bezüglich der geometrischen Anordnung der Flanken der Paletten ist es bevorzugt, wenn die vordere Flanke der Palette dachförmig mit einem mittigen Grad oder zylindrisch mit einer nach außen gewölbten Fläche (bombiert) ausgebildet ist.

Erfindungsgemäß besteht eine weitere Ausführungsform darin, dass die vordere Flanke der Paletten in einer nicht-vertikalen Anordnung in Bezug zur Oberseite bzw. Unterseite der Palette ausgebildet ist. Für diesen Fall kann die vordere Flanke der Paletten als glatte ebene Fläche ausgebildet sein, die um maximal $\pm 3^\circ$, bevorzugt $\pm 1^\circ$, besonders bevorzugt um weniger als $\pm 0,5^\circ$

von der Senkrechten in Bezug zur Oberfläche der Paletten abweicht.

5 Die Erfindung umfasst aber auch alle weiteren Ausführungsformen, bei denen die vordere Flanke der Paletten eine derartige Ausbildung hat, dass eine definierte geometrische Kontaktfläche A_0 in der vorderen Flanke der Zähne des Rades entsteht.

10 Bei der Ankerhemmung gemäß der vorliegenden Erfindung werden somit bevorzugt die Paletten gegen die Kontaktfläche des Ankerzahnrades schräg gestellt, so dass nicht die ebenfalls seitliche Endfläche des Ankerzahnrades sondern nur die obere Kante des Zahnes an der Palette anliegt und quer zur Richtung der Kante über diese Fläche gleitet.

15 Bevorzugt ist es weiterhin, wenn auch das Ankerrad aus Silizium gefertigt ist und mindestens die Kontaktbereiche der Zähne des Zahnrades ebenfalls analog der Paletten eine Hartstoffbeschichtung, vorzugsweise aus Diamant aufweisen.

20 Im bevorzugten Falle sind somit sowohl die Ankerpaletten wie auch das Zahnrad und die radial nach außen gerichteten Zähne aus Silizium gefertigt und weisen eine Hartstoffbeschichtung auf.

25 Die Hartstoffbeschichtung der Zähne und der Paletten besitzt dabei bevorzugt eine Schichtdicke von 0,5 bis 100 μm , bevorzugt 2 bis 50 μm und ist ausgewählt aus Siliziumdioxid, nicht stöchiometrischen Oxiden mit der Formel Si_xO_y , wobei x und y ganze Zahlen sind, aus Siliziumoxynitriden oder aus Siliziumcarbiden, Siliziumnitrid und/oder Diamant. Im Fall von Siliziumbauteilen können die Kontaktflächen auch einfach thermisch oxydiert werden (z.B. gem. EP 1 904 901).

30 Bevorzugt ist es dabei, wenn die Hartstoffbeschichtung eine Beschichtung aus nanokristallinem Diamant ist. Insbesondere diejenigen Ausführungsformen, bei denen sowohl das Zahnrad wie auch die Paletten eine Hartstoffbeschichtung aus nanokristallinem Diamant besitzt, sind bevorzugt. Bevorzugt sind dabei Beschichtungen, die 96 bis 97% sp^3 gebundenen Kohlenstoff bei einer Korngröße von 9 nm aufweisen.

35

Es hat sich weiterhin gezeigt, dass es günstig ist, wenn die nanokristalline Diamantschicht eine Oberflächenrauheit von 3 bis 100 nm Rms, bevorzugt 1 bis 30 nm Rms, besonders bevorzugt 1-7nm Rms aufweist. Unter der Rauheit Rms wird die quadratische Rauheit, die dem quadratischen Mittel entspricht, verstanden. Eine nanokristalline Diamantschicht mit einer derart geringen Oberflächenrauigkeit benötigt entsprechend weniger Einlaufweg/Anlaufzeit, was zu einer kürzeren Einlaufphase führt, um einen minimalen und konstanten Reibungskoeffizienten zu erreichen.

Bevorzugt ist es weiterhin, wenn die kristallinen Domänen der nanokristallinen Diamantschicht eine mittlere Korngröße d_{50} von 0,5 nm bis 50 nm, bevorzugt von 1 nm bis 20 nm, besonders bevorzugt von 1 nm bis 10nm aufweisen. Der Vorteil einer derartigen Ausführungsform besteht darin, dass eine möglichst homogene und einheitliche nanokristalline Diamantschicht mit einer wie vorstehend beschrieben, sehr kleinen Korngröße entsteht. Durch kleinere Körner erhöht sich zwangsläufig das Korngrenzenvolumen. Sind die Körner klein im Verhältnis zur Oberflächenrauheit, kann die Einlaufphase zudem beschleunigt werden. Die Zusammenhänge sind in Figur 7 dargestellt. Bevorzugt ist dabei ein Korngrenzenvolumen von 0 bis 50%, bevorzugt von 10 bis 30%. Denn das Heraustrennen eines einzelnen Kornes aus dem Verbund ist einfacher, als das Glattschleifen eines großen Kornes. Deshalb ist es vorteilhaft wenn die kristallinen Domänen kleiner als $0,5xR_t$, bevorzugt $0,2xR_t$, besonders bevorzugt $0,1xR_t$ der verbleibenden Oberflächenrauheit betragen. Bei der Rauheit R_t ist allerdings in diesem Fall die absolute Oberflächenrauheit R_t (Rautiefe), gemessen als peak-to-valley Wert, anzusetzen. R_t berechnet sich aus der Differenz der maximalen Peakhöhe R_p zur maximalen Peaktiefe R_v .

Da sowohl reines Silizium als auch Diamant elektrische Isolatoren sind, wird ferner vorgeschlagen beide Werkstoffe elektrisch zu dotieren, so dass sie zumindest eine geringe elektrische Leitfähigkeit aufweisen. Hierdurch können elektrostatische Aufladungseffekte vermieden werden. Die dotierverfahren von Silizium sind hinreichend in der Literatur beschrieben. Bei Diamant wird vorgeschlagen entweder auf die Dotierung mit Bor oder mit Stickstoff bzw. Ammoniak zurückzugreifen. (N. Wiora et al., Synthesis and Characterization of n-type Nitrogenated, Nanocrystalline Diamond Micron Materials and

Nanomaterials, 15:96-98). Ferner wird vorgeschlagen, dass im Falle von isolierenden Werkstoffen die Reibpartner aus dem gleichen Werkstoff bestehen, somit die gleiche Austrittsarbeit aufweisen. Hierdurch kann eine elektrostatische Aufladung aufgrund des bloßen Reibkontakts weitestgehend ausgeschlossen werden.

5

Die Erfindung wird nachfolgend lediglich beispielhaft anhand mehrerer Figuren näher beschrieben.

10

Figur 1 zeigt schematisch die Draufsicht auf eine Schweizer Ankerhemmung in den beiden Ruhelagen.

Figur 2 zeigt den dynamischen Implusionsvorgang einer Schweizer Ankerhemmung wie in Figur 1 dargestellt.

15

Figur 3 zeigt nun in vergrößerter Darstellung das Verhalten der Kontaktflächen einer Schweizer Ankerhemmung des Standes der Technik während des Impulsionsvorgangs.

20

Figur 4 zeigt eine entsprechende schematische Darstellung bei einer Lageveränderung der Uhr.

Figur 5 zeigt nun eine erfindungsgemäße Konfiguration der Kontaktflächen wie sie sich während des Impulsionsvorgangs bei der Erfindung darstellen.

25

Figur 6 zeigt die erfindungsgemäße Ausführungsform in vergrößerter Darstellung bei einer Lagerveränderung der Uhr.

30

Figur 7 zeigt eine grafische Darstellung, wie sich die Korngröße zum Korngrenzvolumen verhält.

Figur 8 zeigt Rasterelektronenmikroskopaufnahmen eines Kolbenzahnes nach 9 Tagen ununterbrochenen Lauf der Hemmung.

35

Figur 9 zeigt die geometrische Kontaktfläche A_0 in vergrößerter Darstellung

sowie die reale Kontaktfläche A_R .

5 Figur 10 zeigt experimentell ermittelte Amplituden und Gangwerte eines ETA-Kalibertyps 2892A2 bestückt mit einer konventionellen diamantbeschichteten Hemmung.

10 Figur 11 zeigt nun zum Vergleich ebenfalls die experimentell ermittelten Amplituden und Gangwerte eines ETA-Kalibertyps 2892A2 bestückt mit einer erfindungsgemäßen diamantbeschichteten Hemmung.

Figuren 12 bis 14 zeigen weitere erfindungsgemäße Ausführungsformen in schematischer Darstellung, wie sie sich während des Implusionsvorganges bei der Erfindung darstellen.

15 Figur 1 zeigt nun in der Draufsicht eine Schweizer Ankerhemmung. Die Figur 1A zeigt dabei den Zustand des Ankers 1 und des Rades 4 beim Start und die Figur 1B nach dem Nulldurchgang der Unruhe.

20 Wie aus der Figur 1A zu entnehmen ist, weist das Ankerrad 4 im hier dargestellten Fall 20 Kolbenzähne 5 auf. Der Anker 1 besitzt eine Eingangspalette 2 und eine Ausgangspalette 2', welche abwechselnd mit den Kolbenzähnen 5 des Rades 4 im Eingriff stehen. Die Figuren 1A und 1B zeigen dabei jeweils die Ruhezustände. In Figur 1B ist auch die neue Position des Kolbenzahnes 5 dargestellt. Der Stopper 20 dient dem Anker 4 als Anschlag. Alternativ kann auch auf einen derartigen Anschlag verzichtet werden und zwar durch das Einbringen eines Absatzes in den Ankerpaletten. Eine derartige Ausführungsform ist zum Beispiel in der Schweizer Patentschrift CH 5 67293, hier insbesondere die Figuren 5 und 6, beschrieben. Wesentlich ist nun, dass bei einer Schweizer Ankerhemmung des Standes der Technik bei jeder Umdrehung des Rades 4 alle 20 Kolbenzähne 5 des Rades 4 jeweils einmal sowohl mit der Eingangspalette 2 als auch mit der Ausgangspalette 2' wechselwirken. In der Figur 1 ist die Drehrichtung jeweils durch den Pfeil angezeigt.

35 Figur 2 zeigt nun die in der Figur 1 näher beschriebene Schweizer Ankerhemmung, hier während des in dynamischen Implusionsvorgang (Wechselwirkung zwischen Kolbenzahn 5 und Ankerpalette 2 bzw. 2'). In der vergrößerten Dar-

stellung (Detail A) sind die wesentlichen Bereiche vergrößert dargestellt. Der Kolbenzahn 5 des Rades 4 hat bereits die Ruhefläche 22 verlassen und befindet sich auf der Hebefläche 23 der Eingangspalette 2. Durch das anliegende Drehmoment des Räderwerks gleitet nun der Kolbenzahn 5 über die Hebefläche 23 der Eingangspalette 2 und drückt dabei die Ankerpalette 2 zurück. Zum besseren Verständnis des Ablaufes wird auf Figur 3 verwiesen. Mit 21 ist dabei die Position gezeigt, mit der die Palette 2 mit dem Anker 5 im Eingriff steht.

Figur 3 zeigt nun in vergrößerter Darstellung, wie sich die Kontaktflächen zueinander verhalten. Um sicherzustellen, dass die Kolbenzähne 5 des Ankerrades 4 sicher in die Paletten 2, 2' des Ankers 1 eingreifen, werden die Paletten 2, 2' des Ankers 1 dicker ausgeführt als die Kolbenzähne 5 des Rades. Dies ist insbesondere aus dem Schnitt A-A zu entnehmen. Zum besseren Verständnis des Ablaufes des Impulsionsvorganges bei einer Schweizer Ankerhemmung des Standes der Technik ist im Detail B näher dargestellt, mit 25 ist wieder die Stelle gezeigt, bei der die Palette 2 mit dem Zahn 5 im Eingriff steht. Durch den Herstellungsprozess bedingt weisen die Flanken 12 des Zahnes 5 sowie die Flanken 8 der Paletten 2 der Bauteile nie einen Winkel von 90° zur Oberfläche auf (sogenannte Nicht-Vertikalität). Als Konsequenz können die Bauteile somit so eingebaut werden, dass die Funktionsflächen planparallel zueinander stehen. Üblicherweise werden die Bauteile nun so montiert, dass die Flanken gegeneinander ausgerichtet sind, so dass sich ein Freiwinkel α ergibt. Im hier dargestellten Fall, wurde eine symmetrische Nicht-Vertikalität von jeweils 2° angenommen. Typisch sind etwa 1° je Bauteilflanke. Hierbei ist es nun nicht notwendig, dass die Funktionsflächen von Rad 4 und Anker 1 die gleiche Abweichung aus der Idealen aufweisen müssen.

Figur 4 zeigt nun noch das Verhalten der Bauteile zueinander bei einer Lageveränderung der Uhr. In Figur 4 ist im linken Teil bei Schnitt A-A und Detail C die Ausgangslage dargestellt, wie sie vorher schon bei Figur 3 näher beschrieben worden ist. Wenn nun eine Lageänderung der Uhr eintritt, so verändert sich auch das Lagerspiel, d.h. die relative Lage der Bauteile zueinander. Hierdurch kommt es zu einer Verschiebung Δh zwischen dem Kolbenzahn 5 und der Eingangspalette 2, wie es im Detail B in der rechten Hälfte der Figur 4 dargestellt ist. Wichtig ist dabei, dass der Kolbenzahn 5 des Rades 4 bedingt durch den Freiwinkel α nun an der Stelle 25 im Eingriff steht, aber immer noch

auf der gleichen Kontaktfläche A_0 arbeitet. Die Kontaktstelle 25 der Hebelfläche 23 der Eingangsseite 2 hingegen, ist nun um den Betrag Δh verschoben.

5
wiederum bedingt durch den Herstellungsprozess die Flanken 12 des Kolbenzahn-
10 zehnes 5 wie auch die Flanke 8 der Palette 2 eine Nicht-Vertikalität auf. Auch
bei der erfindungsgemäßen Lösung werden die Bauteile so montiert, dass die
Flanken 8, 12 gegeneinander ausgerichtet sind, so dass sich analog zu den
Figuren 3 und 4 ein Freiwinkel α ergibt. Dies ist wiederum in Figur 5 im Detail
B dargestellt. Bei der Ausführungsform nach der Figur 5 wurde wiederum eine
symmetrische Nicht-Vertikalität von jeweils 2° angenommen. Auch bei der
15 Erfindung sind etwa 1° je Bauteilflanke 8 bzw. 12 bevorzugt. Hierbei ist es
ebenfalls nicht notwendig, dass die Funktionsflächen von Rad 4 und Anker 1
die gleiche Abweichung aus der Idealen aufweisen müssen. Abweichend zum
Stand der Technik ist aber nun, dass der Kolbenzahn 5 des Rades dicker ausge-
führt wurde als die Dicke der Paletten 2 des Ankers 4. Somit wird auch wieder
ein sicheres Eingreifen der Kolbenzähne 5 in die Ankerpalette 2 sichergestellt.
20 Mit 30 ist wieder die Kontaktstelle bezeichnet. Die nun durch die erfindungs-
gemäße Anordnung bedingte verbesserte Funktion ergibt sich aus Figur 6.

Figur 6 zeigt die Schnittdarstellung aus Figur 5 nun bei Eintritt einer Lagerver-
änderung der Uhr. Diese tritt wieder ein, wenn die Uhr beispielsweise gedreht
wird. Durch das Lagerspiel ändert sich die relative Lage der Bauteile zueinan-
25 der. Hierdurch kommt es auch zu einer Verschiebung Δh der Kontaktstellen 30
zwischen Kolbenzahn 5 und Eingangspalette 2. Erfindungswesentlich ist nun,
dass die Hebelfläche der Palette 2 bedingt durch den Freiwinkel α nun immer
noch auf der gleichen geometrischen Kontaktfläche A_0 arbeitet (definierte
Kontaktflächen). Die Kontaktstelle 30 des Kolbenzahnes 5 des Ankerrades 4
30 hingegen ist um den Betrag Δh verschoben.

Entscheidend ist nun, dass im Vergleich zum Stand der Technik die definierte
Kontaktfläche der Ankerpalette durch diese Anordnung den n-fachen Ver-
schleiß erfährt, so dass diese schneller einlaufen kann. Durch die erfindungs-
35 gemäße inverse Anordnung wird somit ein deutlich verbessertes Einlaufver-
halten der Bauteile erreicht, so dass die Uhr zu einem früheren Zeitpunkt be-

reits betriebsbereit ist.

5 Figur 7 zeigt nun wie sich das Korngrenzvolumen zur Korngröße verhält. Wie aus Figur 7 hervorgeht, wird durch kleinere Körner zwangsläufig ein erhöhtes Korngrenzvolumen erreicht. Bevorzugt ist ein Korngrenzvolumen von 0 bis 50%, bevorzugt von 10 bis 30%.

10 Figur 8 zeigt in vergrößerter Darstellung (Figur 8a) einen Kolbenzahn 5 und in Figur 8b den in Figur 8a gekennzeichnet vergrößerten Abschnitt

Die Darstellung in Figur 8b zeigt einen erfindungsgemäßen Kolbenzahn 5 nach 9 Tagen ununterbrochener Lauf der Hemmung. Die geometrische Kontaktfläche A_0 , die durch den dunklen Teil dargestellt wird, kann eine Breite von 0,5 bis 20 μm , bevorzugt von 1 bis 10 μm , ganz besonders bevorzugt von 1 bis 5 μm aufweisen. Die reale Kontaktfläche A_R (heller Streifen) ist aufgrund der Nicht-Vertikalität des Bauteils auf den äußersten oberen Teil des Bauteils beschränkt. Unter 25.000facher Vergrößerung wird erkennbar, dass die geometrische Kontaktfläche A_0 im Beispielsfall lediglich etwa 1,5 bis 2 μm breit ist. Die die geometrische Kontaktfläche A_0 umsäumende dunkle Farbe resultiert durch den Abrieb der ursprünglich noch mikroskopisch rauen Bauteiloberfläche. Der helle Bereich wurde durch die Funktion des Bauteils poliert und befindet sich tatsächlich in Kontakt mit den Paletten (2,2'). Dies wird erfindungsgemäß als reale Kontaktfläche A_R bezeichnet. Durch den Helligkeitsunterschied ist es möglich, die geometrische und reale Kontaktfläche zu ermitteln und den Quotienten zu bilden.

30 Dies wird unter anderem auch in Figur 9 dargestellt, bei der ebenfalls wieder in Figur 9a die geometrische Kontaktfläche A_0 und in Figur 9b die reale Kontaktfläche A_r dargestellt ist. Bildet man nun das Verhältnis A_r zu A_0 , so ergibt sich im vorliegenden Fall 74,6%. Während der Einlaufphase vergrößert sich die reale Kontaktfläche so lange bis typischerweise ein Tragflächenanteil T von mehr als 50% erreicht ist. Ähnliche Auswertungen wurden auch mit einem weiteren Kaliber vom Typ ETA 2824A2 (ebenfalls Pointage 20.3, also gleiche Hemmbauteile) welches allerdings mit einem deutlich höheren Drehmoment arbeitet. Hieraus resultiert auch eine deutlich höhere Flächenpressung. Auch hier wurde festgestellt, dass ein Tragflächenanteil von mindestens 50% für

den Abschluss der Einlaufphase notwendig ist.

5 In Figur 10 sind nun experimentell ermittelte Amplituden und Gangwerte eines ETA-Kalibertyps 2892A2 bestückt mit einer konventionellen diamantbeschichteten Hemmung mit sp^2 -haltiger Abschlusschicht gemäß dem Europäischen Patent EP 2 236 455 B2 dargestellt. Diese Hemmung ist schmierungsfrei.

10 Die Amplitudenwerte (Fig. 10a) werden mittels einer Zeitwaage Typ Witschi M1 (akustisch) gemessen und optisch kontrolliert. Bei den dargestellten Werten handelt es sich um arithmetische Mittelwerte aus je 6 Lagen (Ziffernblatt oben, unten; Krone oben, rechts, unten, links) Das Messintervall betrug jeweils 30 Sekunden, Die Stabilisierungszeit ebenfalls 30s. Bei der mittleren Gangabweichung (Fig. 10b) handelt es sich ebenfalls um arithmetische Mittelwerte aus je 6 Lagen (siehe Amplitudenmessung).

15

20 Gut zu erkennen ist der typische Amplitudenabfall innerhalb der ersten 7 Tage. Im Anschluss steigt die Amplitude dann wieder langsam an und erreicht nach ca. 40 Tagen Ihren Startwert. Dieses Verhalten erklärt sich auch dem Einlaufen der Bauteile. Die Definierte Kontaktfläche des Rades wird durch den Reibkontakt mit den Ankerpalletten poliert. Ist der Tragflächenanteil von mehr als 50% erreicht, findet kein weiterer Abtrag statt, und es kann sich auf den Kontaktflächen ein Tribofilm bilden. Die gestrichelte Linie zeigt, wann die Einlaufphase abgeschlossen ist.

25

In Figur 11 sind die experimentell ermittelten Amplituden und Gangwerte eines ETA Kalibers Typ 2892A2 bestückt mit der erfindungsgemäß diamantbeschichteten Hemmung ohne weiche sp^2 -haltige Abschlusschicht gem. EP 2 236 455. Die Hemmung läuft schmierungsfrei.

30 Die Amplitudenwerte (Fig. 11a) werden wiederum mittels einer Zeitwaage Typ Witschi M1 (akustisch) gemessen und optisch kontrolliert. Bei den dargestellten Werten handelt es sich wiederum um arithmetische Mittelwerte aus je 6 Lagen (Ziffernblatt oben, unten; Krone oben, rechts, unten, links) Das Messintervall betrug jeweils 30 Sekunden, Die Stabilisierungszeit ebenfalls 30s. Bei der mittleren Gangabweichung (Fig. 11b) handelt es sich ebenfalls um arithmetische Mittelwerte aus je 6 Lagen (siehe Amplitudenmessung).

35 Gut zu erkennen ist, dass der typische Amplitudenabfall nun innerhalb der ersten 2 Tage stattfindet (konventionell etwa 7). Im Anschluss steigt die Amp-

litude dann sehr schnell wieder an und übertrifft bereits nach ca. 10 Tagen Ihren Startwert. Dieses Verhalten erklärt sich auch dem Einlaufen der Bauteile. Die definierte Kontaktfläche des Ankers wird durch den Reibkontakt mit den Ankerpalletten poliert. Ist der Tragflächenanteil von mehr als 50% erreicht, findet kein weiterer Abtrag statt, und es kann sich auf den Kontaktflächen ein Tribofilm bilden. Dadurch das die definierte Kontaktfläche den 20fachen Verschleiß eines Kolbenzahnes erfährt, ist die Einlauffase entsprechend verkürzt. Ferner zeigt sich eine deutlich höherer Stabilität in der Ganggenauigkeit.

5

10

Die Figuren 12 bis 14 zeigen nun weitere erfindungsgemäße Ausführungsformen, wie und in welcher Weise der Kolbenzahn 5 und die Palette 2 ausgebildet sein können, um die erfindungsgemäße geometrische Kontaktfläche A_0 zu ermöglichen.

15

In Figur 12a ist eine derartige Ausführungsform in der Draufsicht dargestellt und in Figur 12b der in Figur 12a gekennzeichnete Schnitt.

20

Im Unterschied zur Ausführungsform nach der Figur 5 ist nun in der Ausführungsform nach Figur 12 die Palette 2 bezüglich seiner Flanke zweifach abgeschrägt, so dass dann wiederum eine definierte Kontaktstelle 30 beim Eingriff mit dem Zahn 5 entsteht.

25

In Figur 13 ist eine weitere Ausführungsform dargestellt und zwar hier nun eine Ausführungsform, bei der die Palette 2 eine abgerundete Flanke besitzt. In Figur 13b ist wieder ausschnittsweise schematisch die Draufsicht einer derartigen Konfiguration gezeigt und in den Figuren 13a und 13b in jeweils vergrößerter Darstellung die Kontaktstelle 30. In Figur 14 ist nun noch eine weitere Ausführungsform gezeigt, wobei hier die Palette 2 eine Ausbildung besitzt, wie sie bereits in der Figur 12 beschrieben worden ist, jedoch ist hier nun der Kolbenzahn 5 gewinkelt ausgebildet. In der Figur 14 ist wiederum in A ausschnittsweise die Draufsicht auf die Konfiguration dargestellt und in den Figuren 14b und 14c jeweils vergrößerte Darstellungen, wobei auch hier wiederum die Kontaktstelle 30 ersichtlich ist, so dass sich dann auch hier wieder eine geometrische Kontaktfläche A_0 bilden kann.

30

35

GFD Gesellschaft für Diamantprodukte mbH
139EP 1433

Patentansprüche

5

1. Ankerhemmung für einen mechanischen Zeitmesser umfassend einen schwenkbaren Anker (1) mit Ankerpaletten (2,2') und ein mit einem Drehmoment beaufschlagbaren Ankerrad (4), das über seinen Außenumfang nach Außen gerichtete Zähne (5,5',5'') aufweist wobei beim Betrieb der Hemmung eine gleitende Relativbewegung entsteht bei der die vorderen Flanken (8) der Paletten (2,2') nacheinander und abwechselnd mit den vorderen Flanken der Zähne (5,5',5'') in Kontakt stehen,

10

dadurch gekennzeichnet,

15

dass die vordere Flanke (8) der Paletten (2,2') so ausgebildet sind, dass bei jedem Kontakt mit der vorderen Flanke (12) der Zähne (5,5',5'') des Rades (4), die vordere Flanke (8) der Paletten (2,2') immer mit der gleichen Kontaktfläche im Eingriff steht, wobei mindestens die Flanken (8) der Paletten (2,2') und die vordere Flanke (12) der Zähne (5,5',5'') eine Hartstoffbeschichtung aufweisen.

20

2. Ankerhemmung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die vorderen Flanken (8) der Paletten (2,2') und die vorderen Flanken (12) der Zähne (5,5',5'') eine Nicht-Vertikalität besitzen und so zueinander angeordnet sind, dass ein Freiwinkel α von mindestens $0,1^\circ$ - 5° , bevorzugt $0,1^\circ$ - 3° und besonders bevorzugt von $0,1^\circ$ - 1° entsteht.

25

3. Ankerhemmung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass sich bei Betrieb der Hemmung, in Richtung der Relativbewegung, in den vorderen Flanken (12) der Zähne (5,5',5'') geometrische Kontaktflächen A_0 in Form eines Bandes bilden, die eine Breite von 0,5 bis 20 μm bevorzugt 0,5 μm bis 10 μm besonders bevorzugt von 0,5 bis 5 μm besitzen.

30

4. Ankerhemmung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass in der geometrischen Kontaktfläche A_0 eine (an)polierte reale Kontaktfläche A_R gebildet ist, wobei das Verhältnis A_R/A_0 zwischen 20 und 90% liegt.
5. Ankerhemmung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die vorderen Flanken (8) der Paletten (2,2') dachförmig mit einem mittigen Grad oder zylindrisch mit einer nach außen gewölbte Fläche, ausgebildet sind, wobei die geometrische Kontaktfläche A_0 durch den mittigen Grad bzw. durch die nach außen gewölbte Fläche gebildet wird.
6. Ankerhemmung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die vorderen Flanken (8) der Paletten (2,2') als glatte ebene Flächen ausgebildet sind, die um maximal $\pm 2^\circ$, bevorzugt 1° , besonders bevorzugt weniger als $0,5^\circ$ von den senkrechten, im Bezug zur Oberseite der Paletten, abweichen, wobei die geometrische Kontaktfläche A_0 durch die nach außen stehende Kante gebildet wird.
7. Ankerhemmung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Dicke der Paletten (2,2') 50 bis 180 μm und die Dicke der Zähne (5,5',5'') des Zahnrades (4) 100 bis 250 μm beträgt wobei die Dicke der Paletten (2,2') kleiner ist als die Dicke der Zähne (5,5',5'') des Zahnrades (4), jeweils bezogen auf die senkrechte im Bezug zur Oberseite.
8. Ankerhemmung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens die Kontaktfläche der vorderen Flanke (12) der Zähne (5,5',5'') die mit der vorderen Flanke (8) der Paletten (2,2') in Eingriff steht, eine Hartstoffbeschichtung aufweisen.

- 5 9. Ankerhemmung nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Hartstoffbeschichtung der Zähne (5,5',5'') und der Paletten (2,2') eine Schichtdicke von 1 bis 100 μm , bevorzugt 5 bis 50 μm aufweist und ausgewählt ist aus Siliciumoxid wie SiO_2 , nichtstöchiometrischen Oxiden mit der Formel Si_xO_y wobei x und y ganze Zahlen sind, oder aus Siliciumcarbiden, Siliciumnitrid und/oder Diamant, diamantartigem Kohlenstoff (DLC), Rubin, Saphir, Siliciumcarbid.
- 10 10. Ankerhemmung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Hartstoffbeschichtung eine Beschichtung aus nanokristallinem Diamant ist.
- 15 11. Ankerhemmung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die nanokristalline Diamantschicht mindestens eine der folgenden Eigenschaften aufweist:
- 20 a) eine Oberflächenrauheit rms von 1 bis 100 nm rms, bevorzugt 1 bis 30 nm rms, besonders bevorzugt 1 bis 7 nm Rms,
- b) dass die kristallinen Domänen eine mittlere Korngröße d_{50} von 1 nm bis maximal 50 nm, bevorzugt von 1nm bis 10 nmaufweisen und
- 25 c) dass die nanokristalline Diamantschicht eine Biegebruchspannung von 1 bis 10 GPa, bevorzugt von mindestens 2 GPa, bevorzugt von mindestens 5 GPa und besonders bevorzugt mindestens 7 GPa aufweist.
- d) dass die nanokristalline Diamantschicht eine Schichtdicke im Kontaktbereich von 0,5 μm bis 100 μm , bevorzugt 2-50 μm und besonders bevorzugt 2-10 μm aufweist.
- 30 e) dass die nanokristalline Diamantschicht ein E-Modul von 700 GPA bis 1143 GPA aufweist, bevorzugt von 400 GPA bis 900 GPA.

12. Ankerhemmung nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 11 dass mindestens das Ankerrad aus einem Material gefertigt wurde, dass eine Dichte von $0,5 \text{ g/cm}^3$ bis als $4,5 \text{ g/cm}^3$, besonders bevorzugt von 1 bis 4 g/cm^3 aufweist.

5

13. Ankerhemmung nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass

die Paletten (2,2') und/oder der Anker (1) und/oder das Rad (4) aus Silicium gefertigt und mit der Hartstoffschicht versehen sind.

10

GFD Gesellschaft für Diamantprodukte mbH
139EP 1433

Zusammenfassung

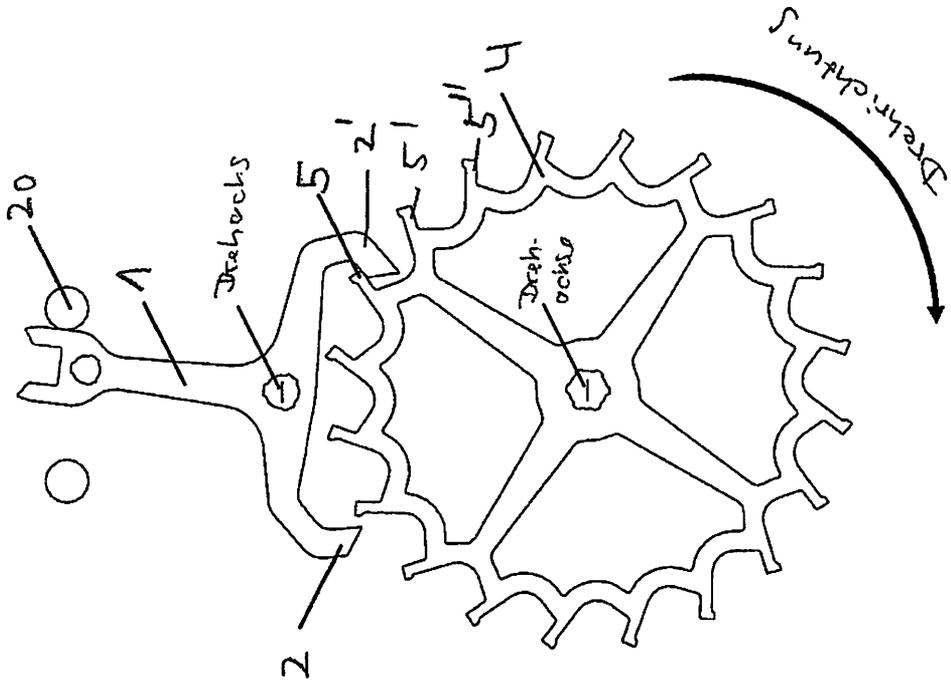
5

Die Erfindung betrifft eine Ankerhemmung für einen mechanischen Zeitmesser umfassend einen schwenkbaren Anker mit Ankerpaletten und ein mit einem Drehmoment beaufschlagbares Ankerrad, das über seinen Außenumfang etwa radial nach außen gerichtete Zähne aufweist. Die vorderen Flanken der Paletten sind dabei so ausgebildet, dass sie bei jedem Kontakt, mit der vorderen Flanke der Zähne des Rades, immer mit der gleichen Kontaktfläche im Eingriff stehen.

10

Figur: 1

a.)



b.)

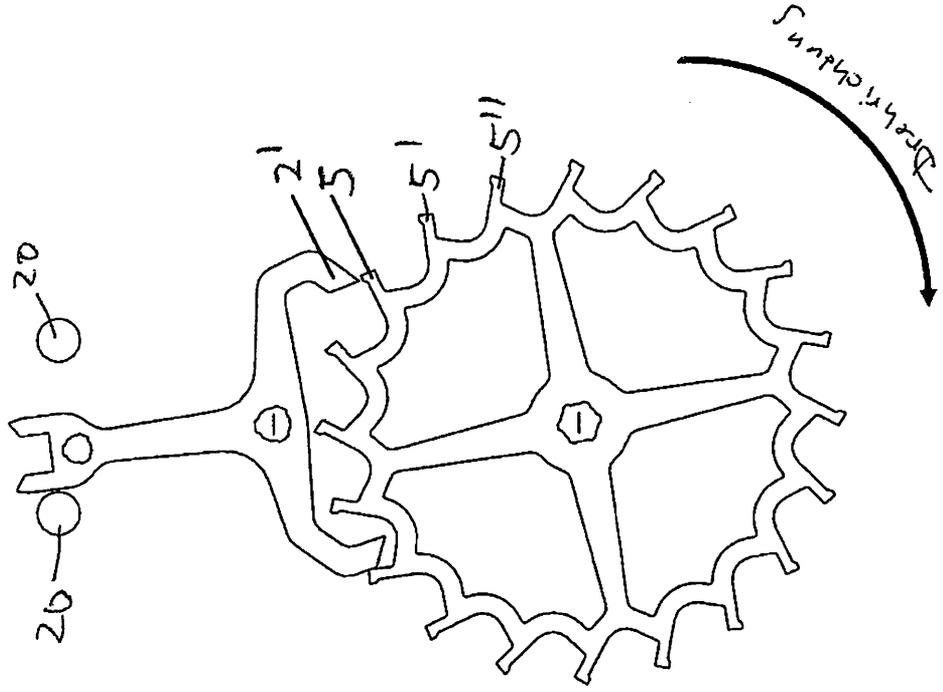
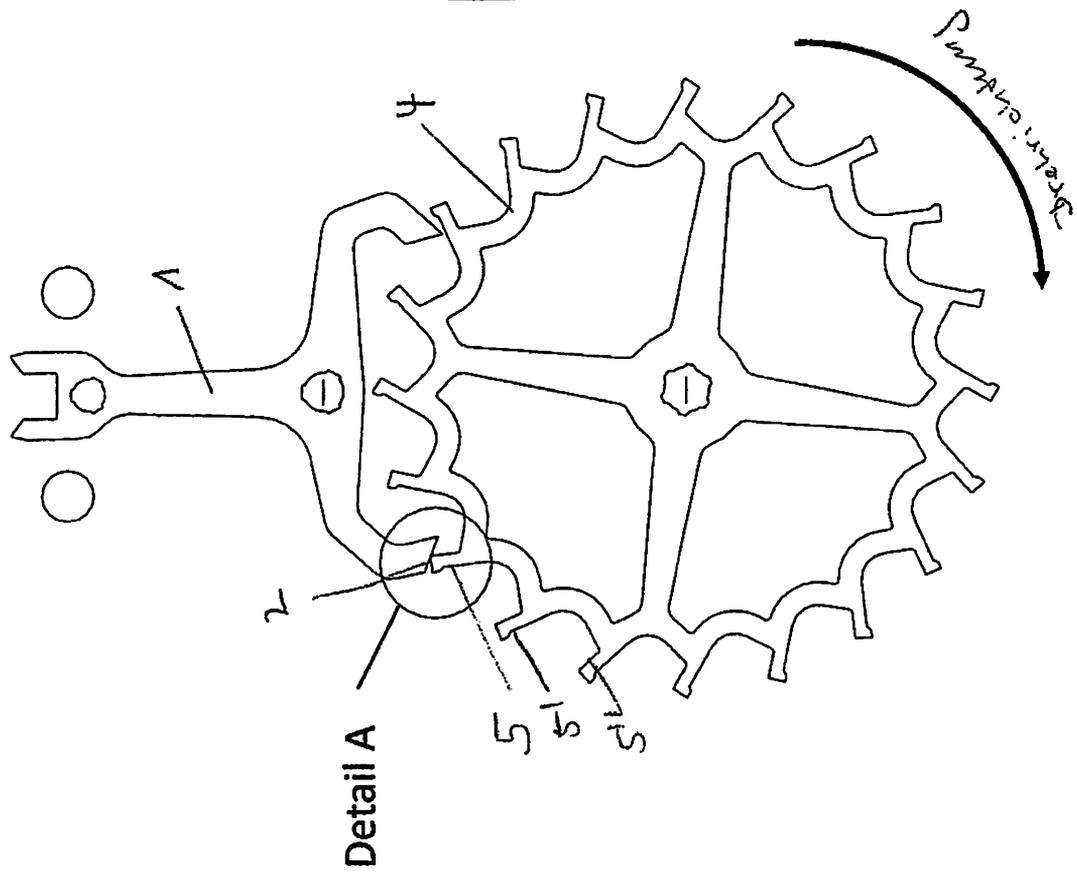


Figure: 2



Detail A

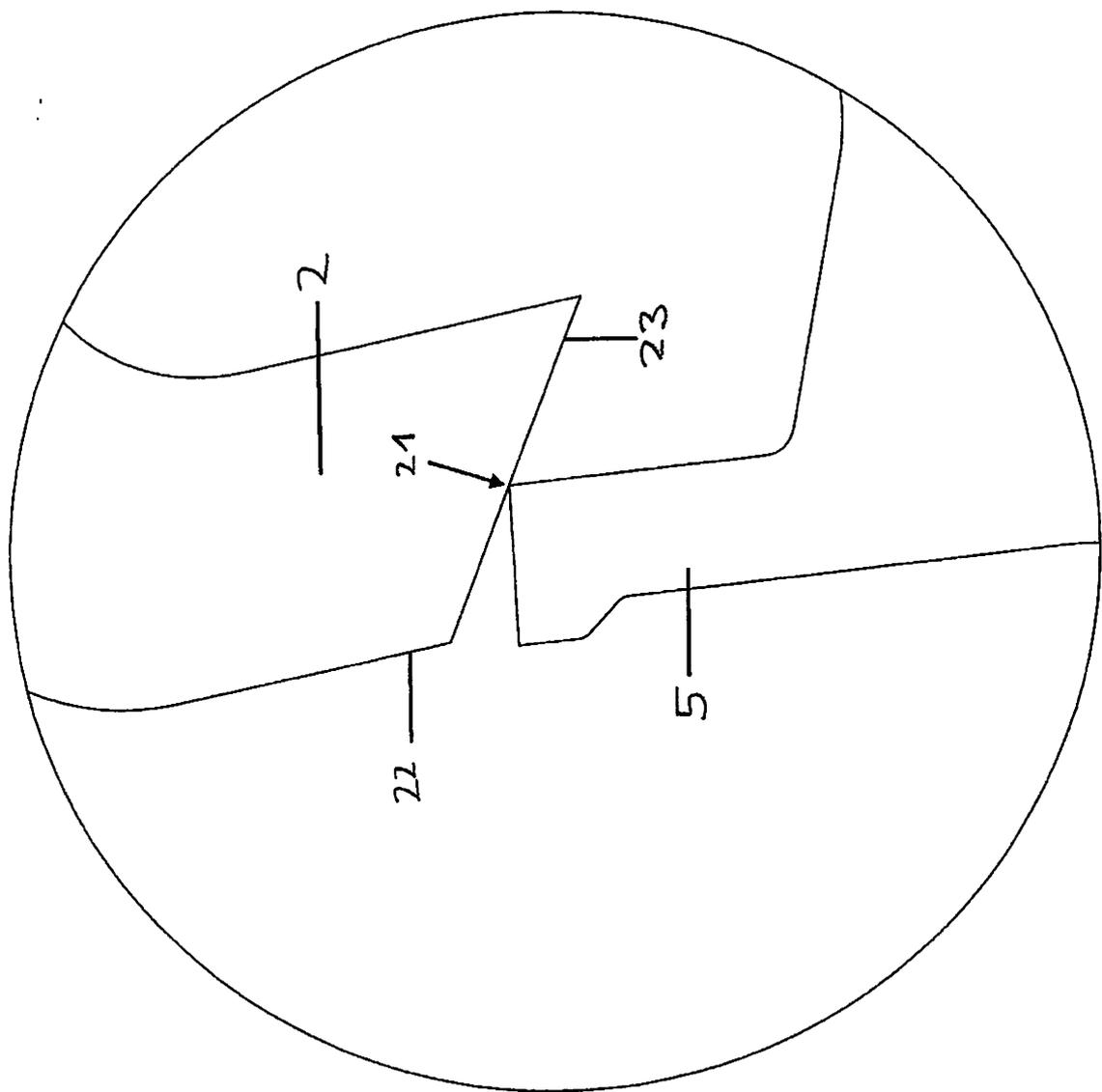
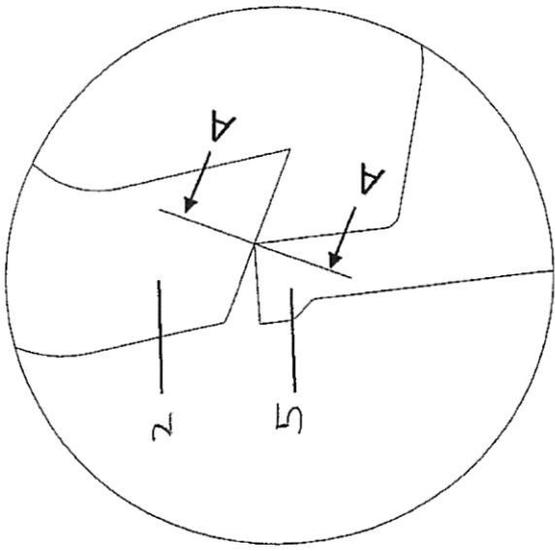
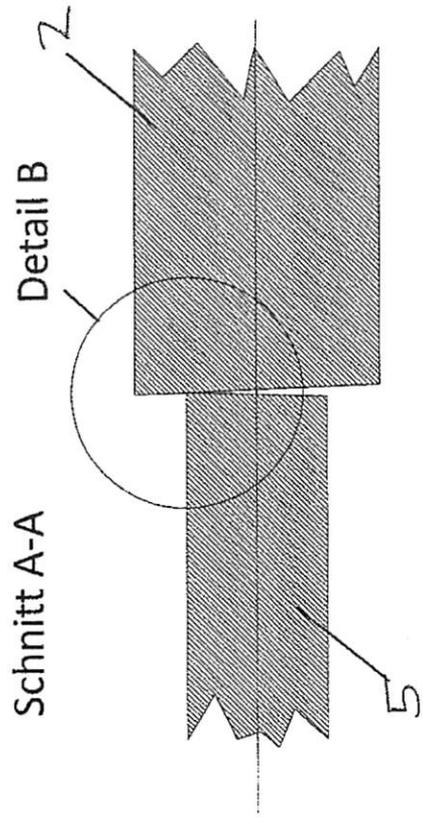


Fig. 3



Detail B

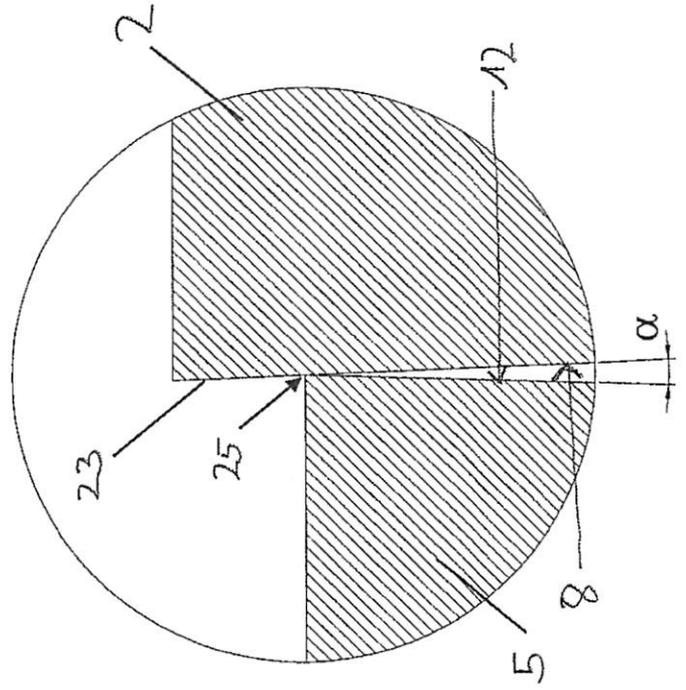
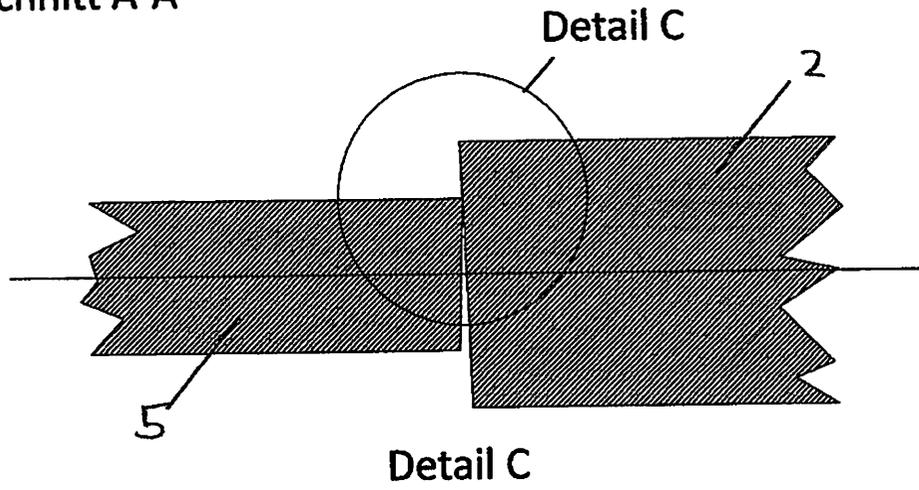
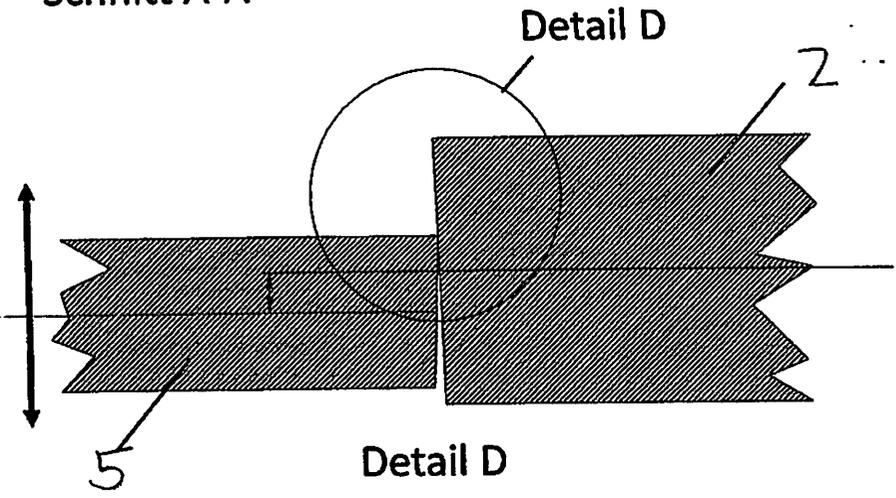


Figure 4

Schnitt A-A



Schnitt A-A



Detail C

Detail D

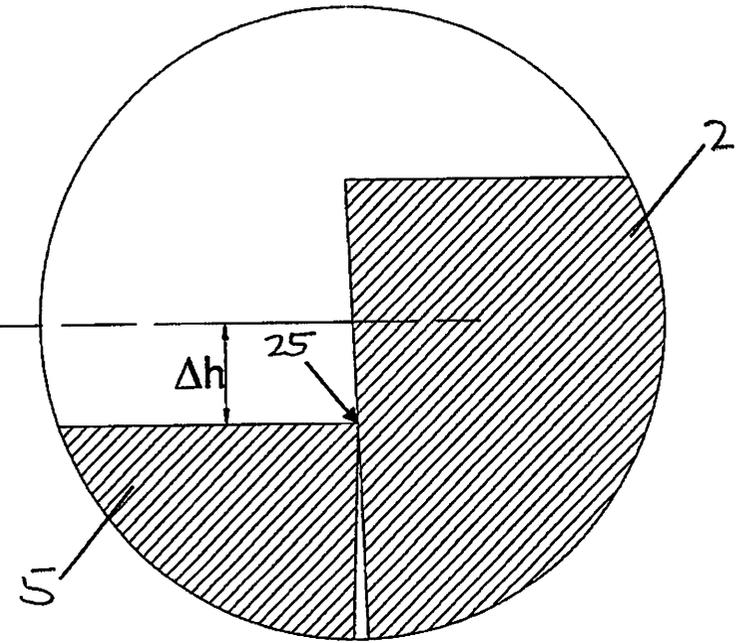
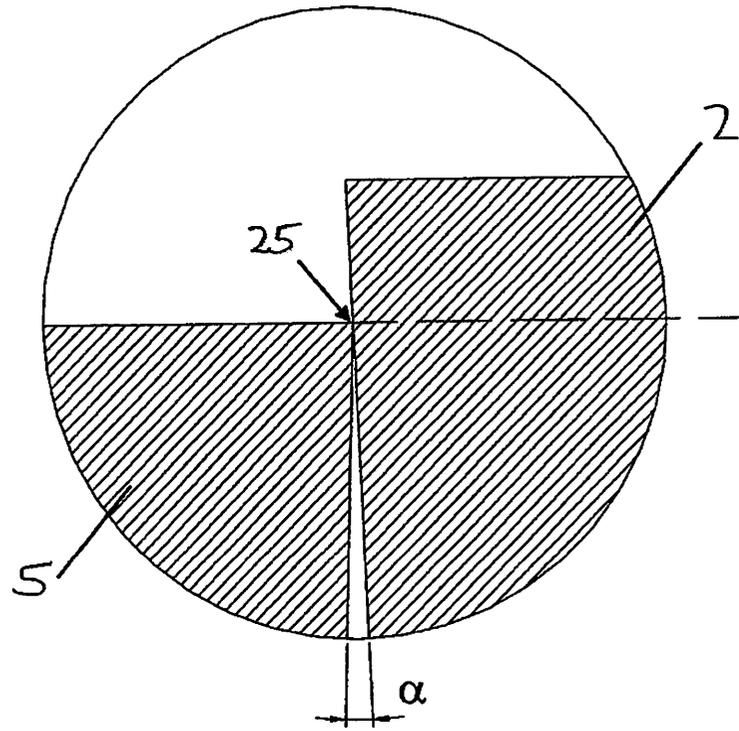
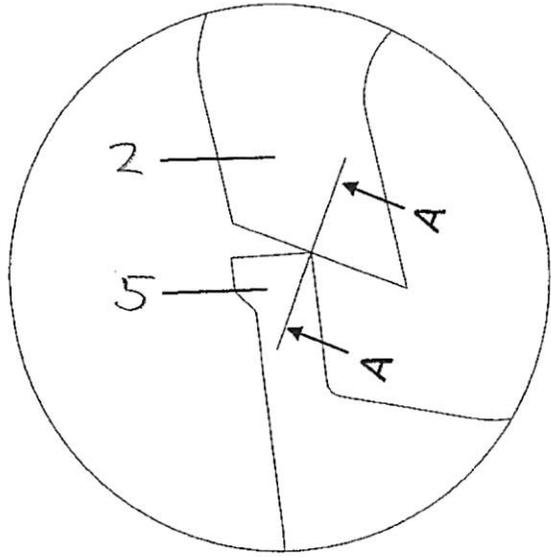
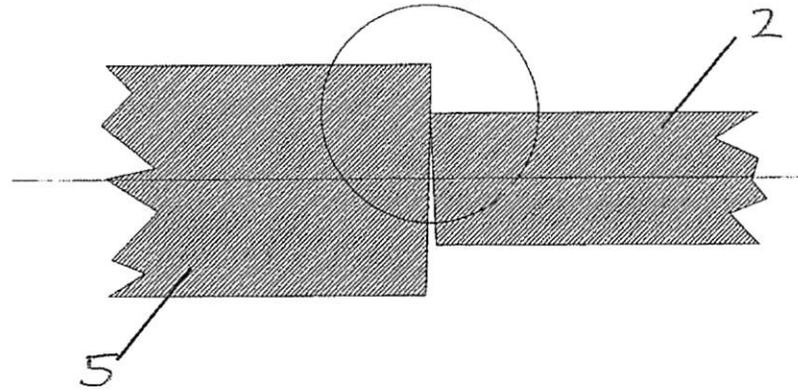


Figure 5



Schnitt A-A

Detail B



Detail B

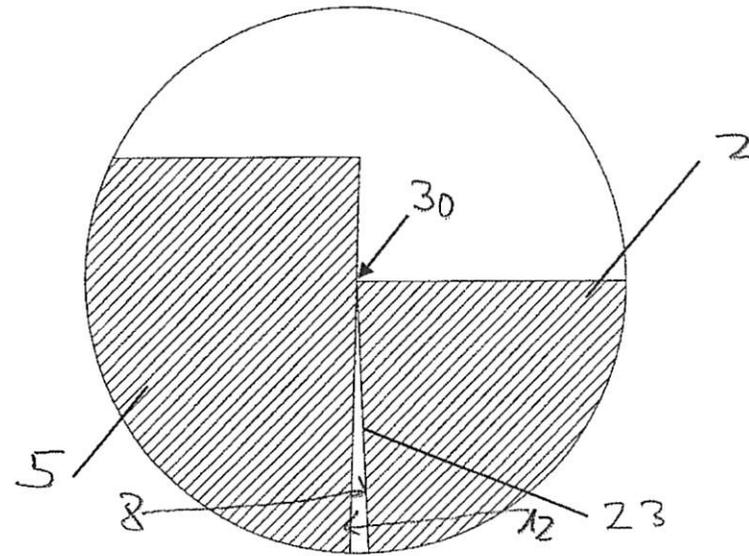


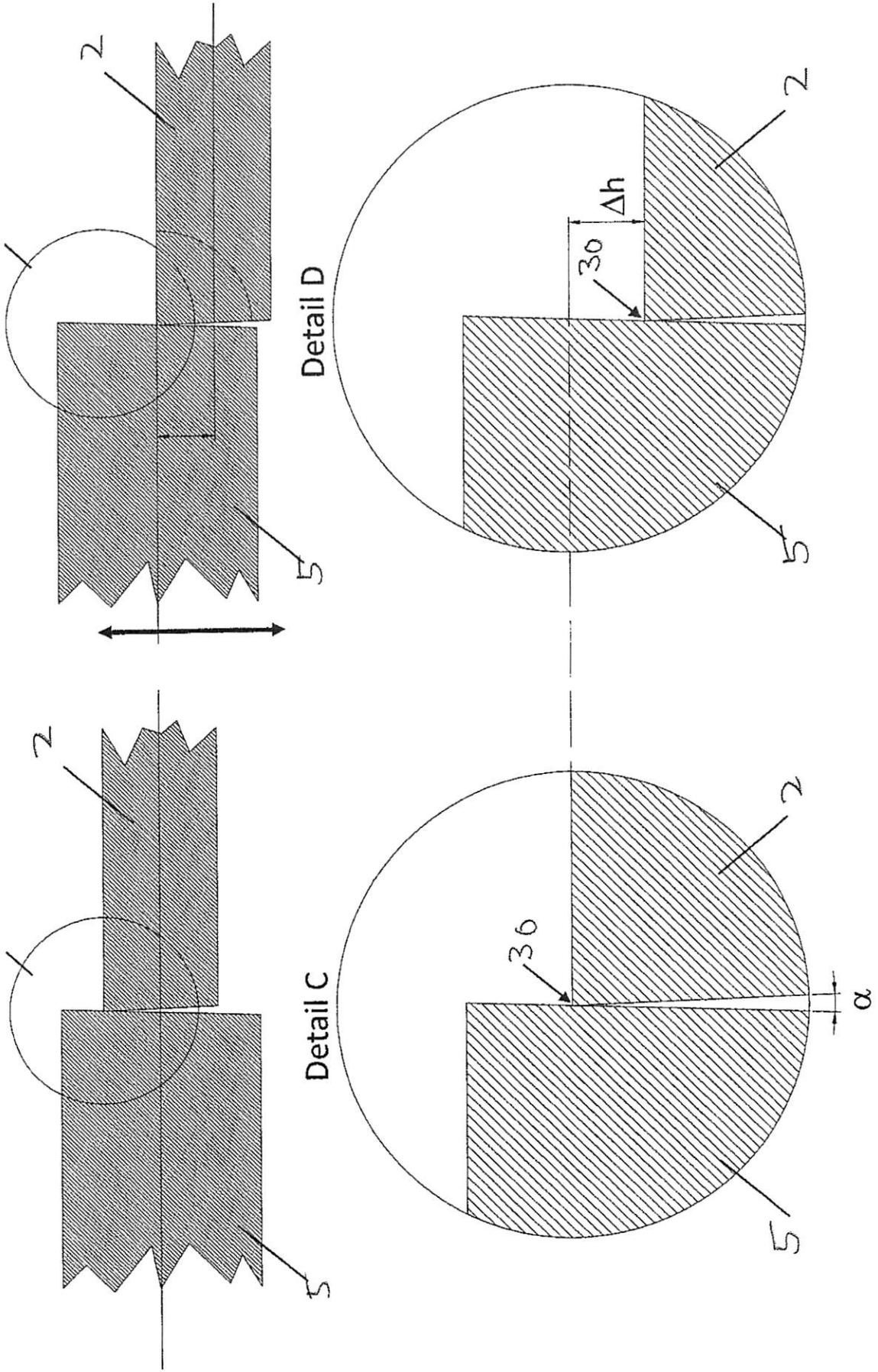
Figure 6

Schnitt A-A

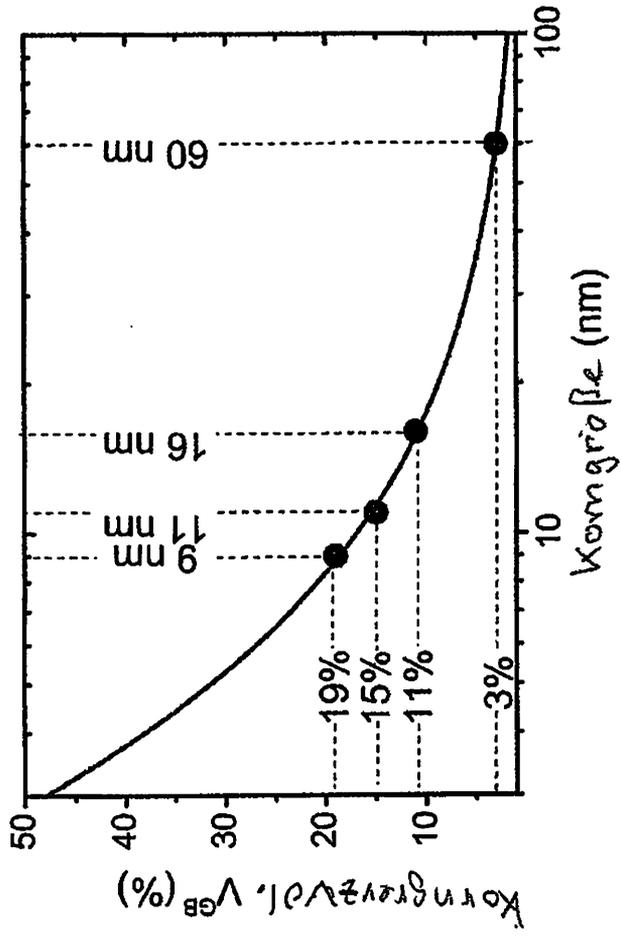
Schnitt A-A

Detail C

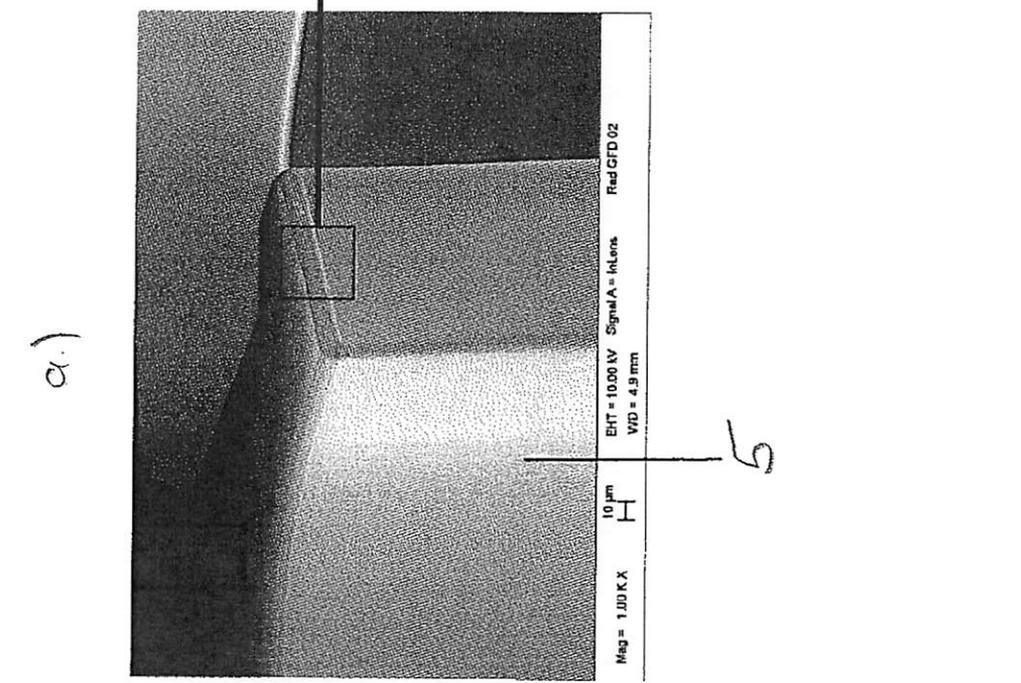
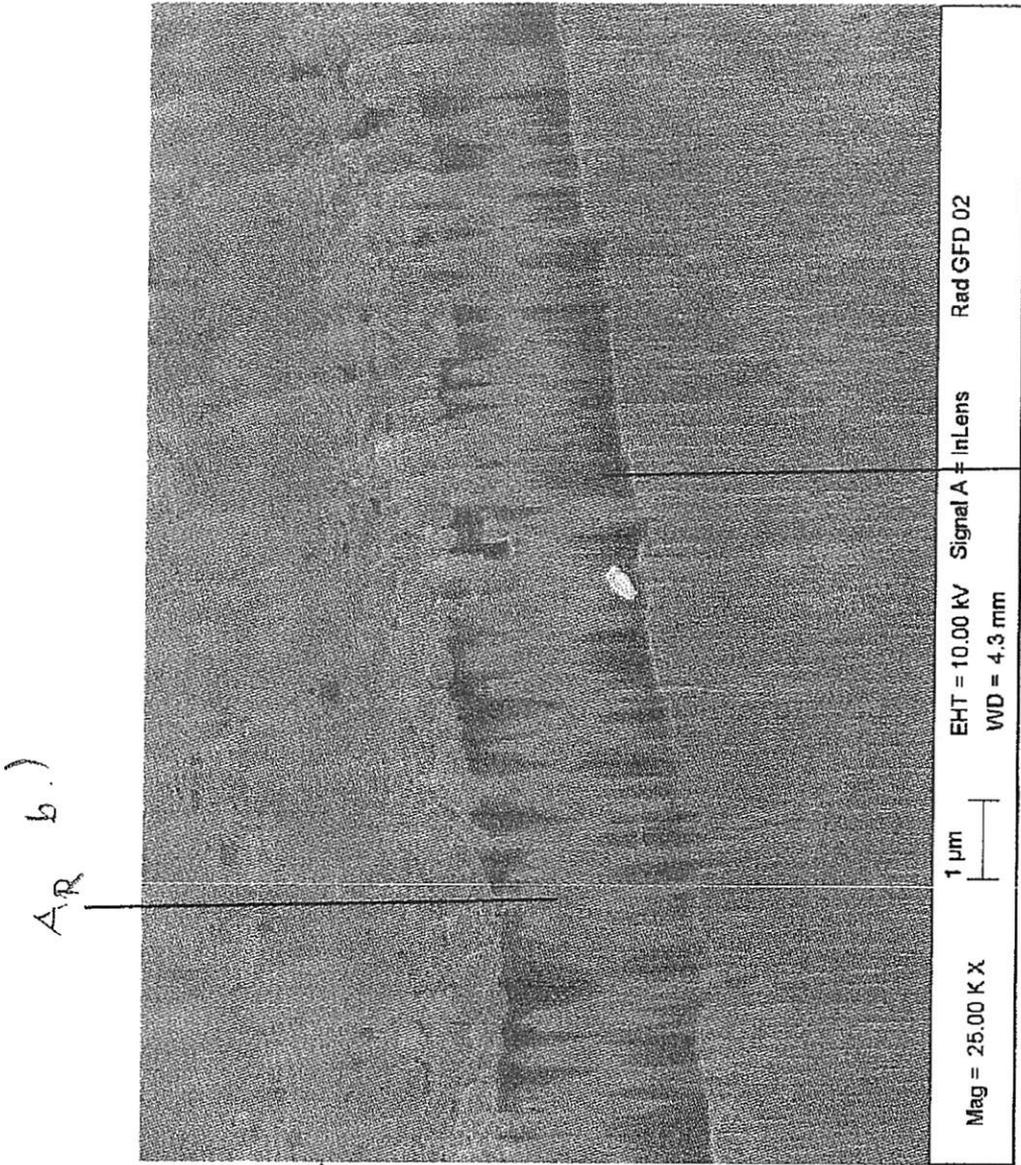
Detail D



Ferrit



Figur: 8

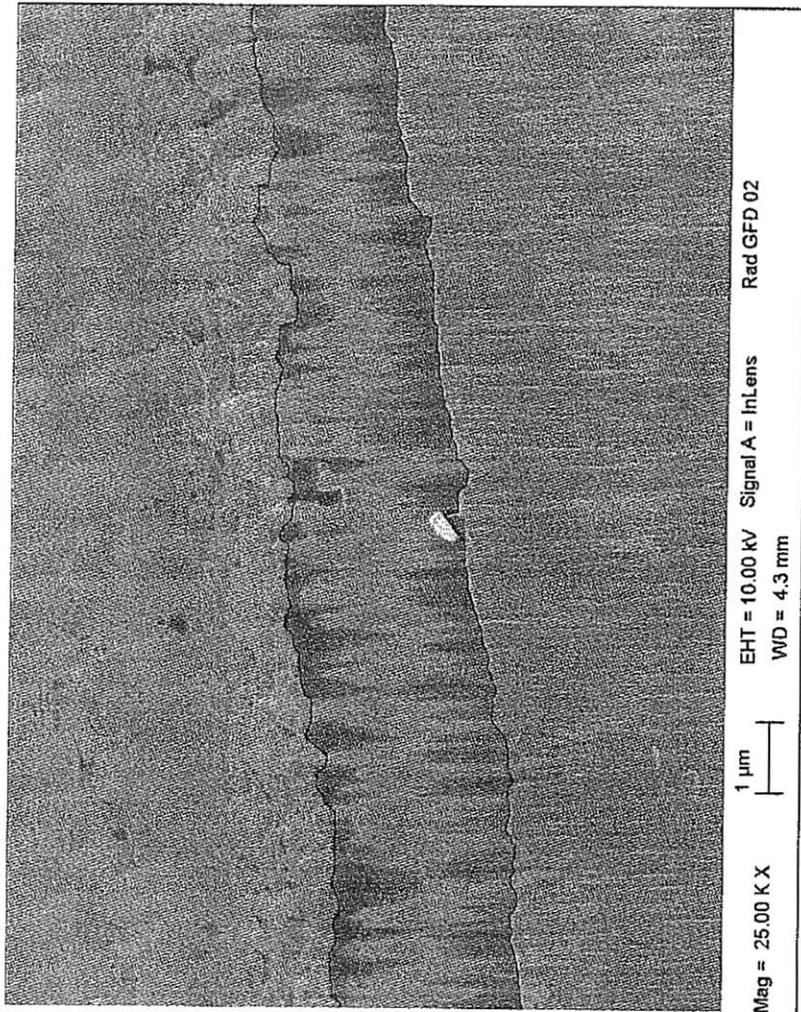


AO

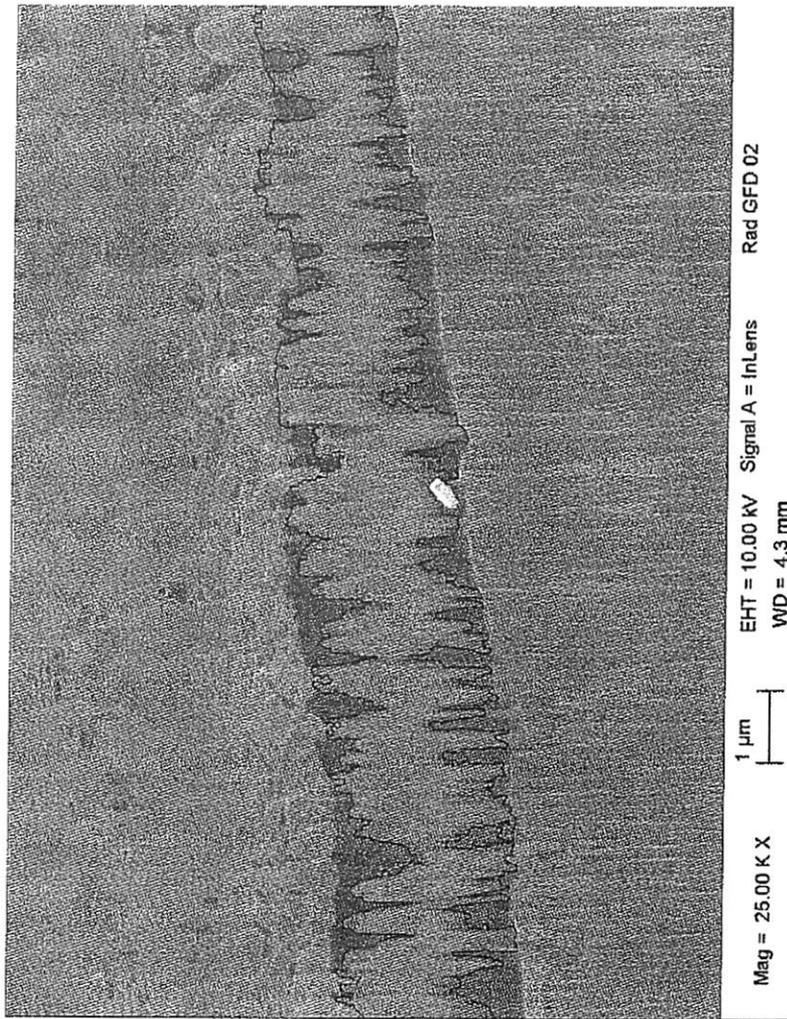
6

Figur: 9

a.) A₀



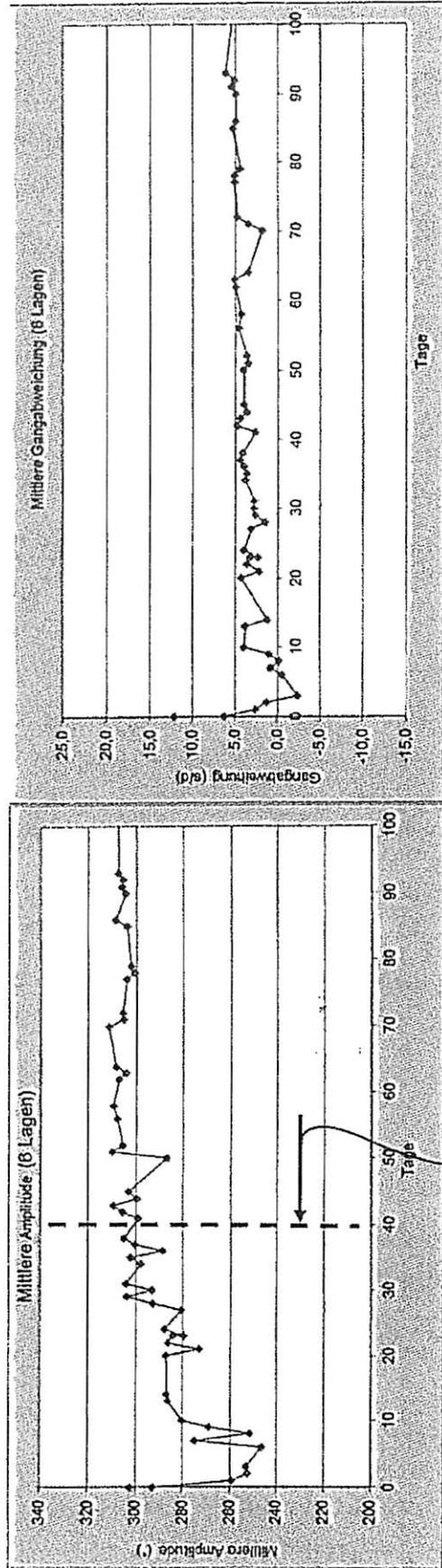
b.) A_D



Figur: 10

b)

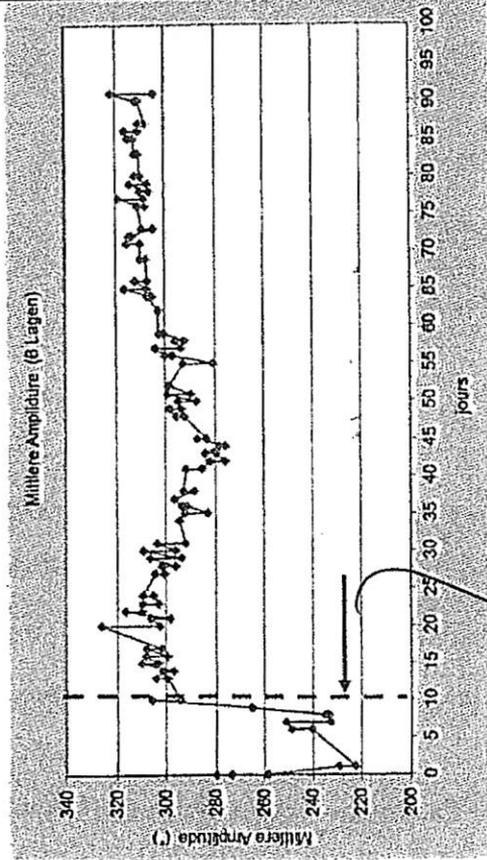
a)



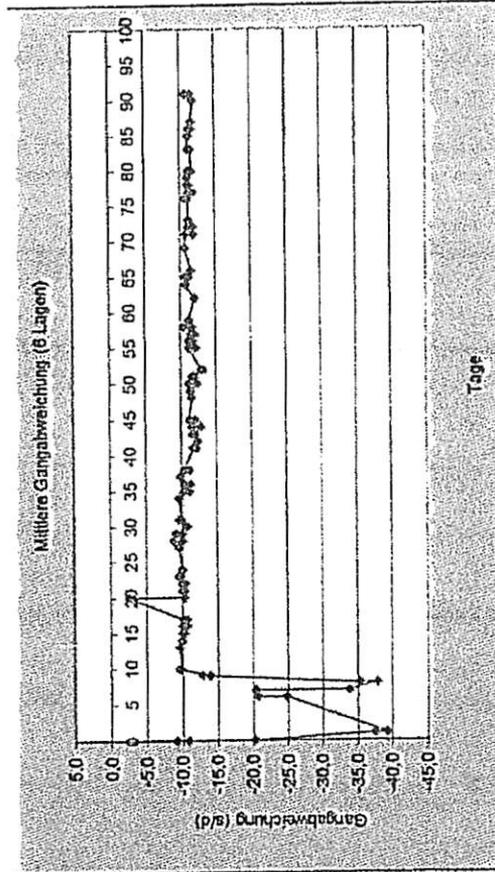
Einkaufphase abgeschlossen

Figur: 11

a)



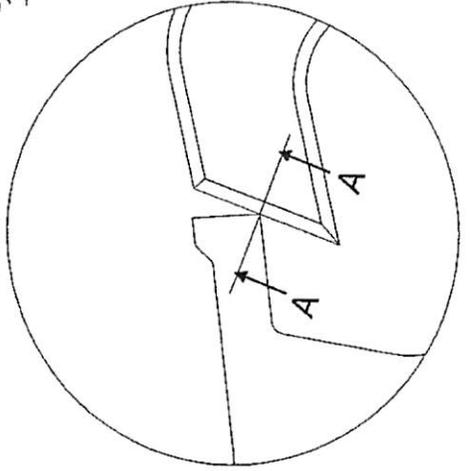
b)



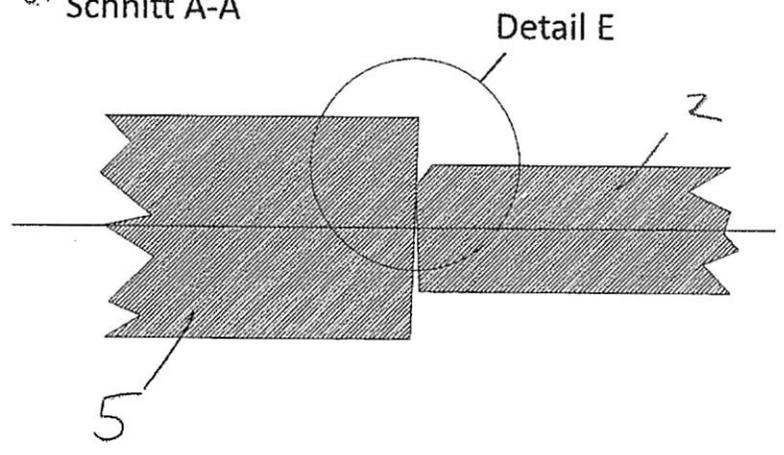
Einlaufphase abgeschlossen

Figur: 12

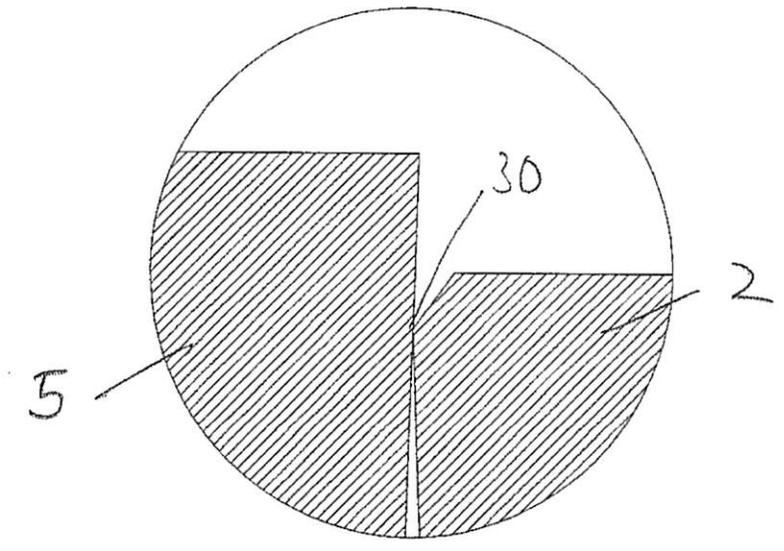
a.)



b.) Schnitt A-A



Detail E



Figur 13

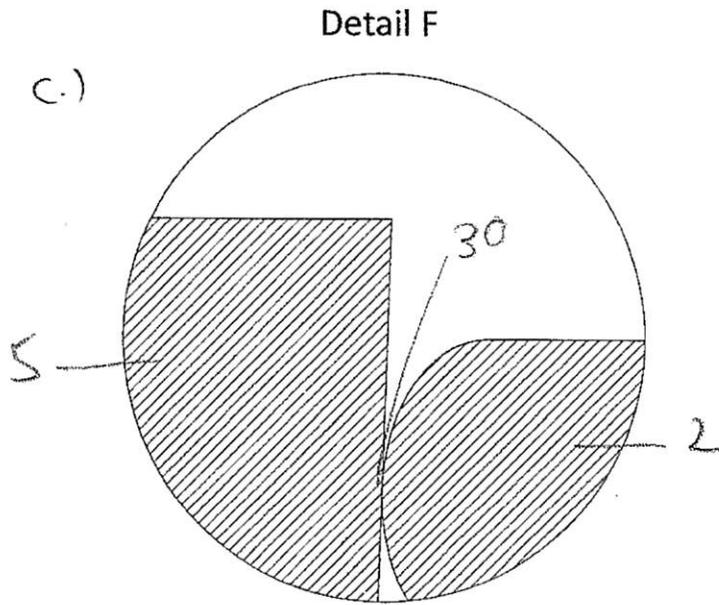
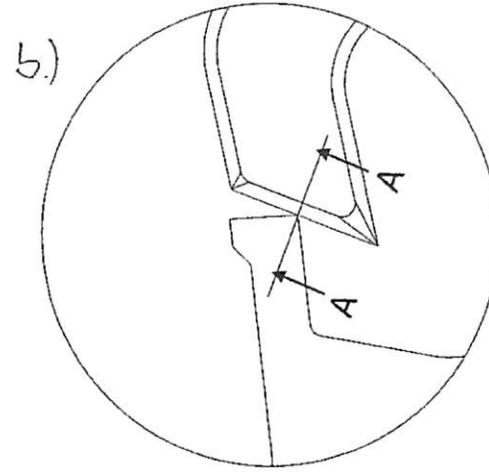
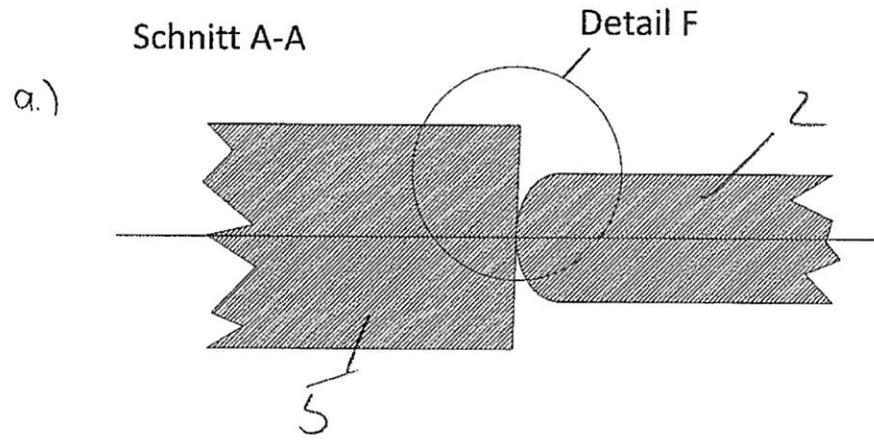
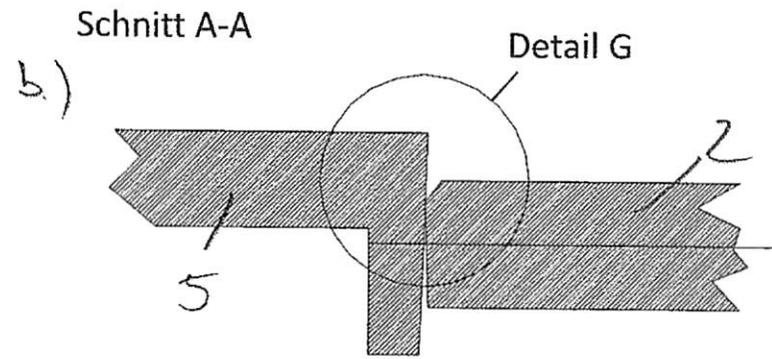
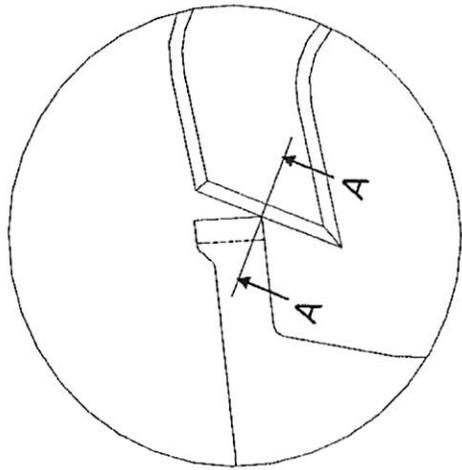


Figure: 14

a.)



Detail G

