



(19)  
**Bundesrepublik Deutschland**  
**Deutsches Patent- und Markenamt**

(10) **DE 10 2005 021 793 B4 2007.03.29**

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2005 021 793.1**  
 (22) Anmeldetag: **11.05.2005**  
 (43) Offenlegungstag: **16.11.2006**  
 (45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **29.03.2007**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **C21D 9/30 (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. 2 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**Maschinenfabrik Alfing Kessler GmbH, 73433 Aalen, DE**

(74) Vertreter:  
**Lorenz und Kollegen, 89522 Heidenheim**

(72) Erfinder:  
**Reeb, Alfons, 73434 Aalen, DE; Schmidt, Jochen, 73529 Schwäbisch Gmünd, DE**

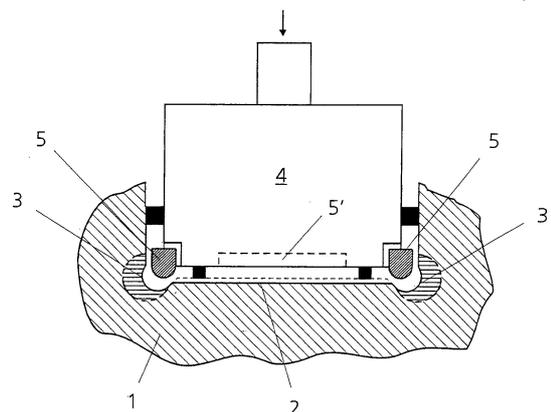
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

**DE 40 01 887 C2**  
**DE 36 13 909 C1**  
**DE 103 08 124 B3**  
**DE 102 35 957 A1**  
**EP 12 62 280 A1**  
**EP 12 11 026 A2**  
**EP 06 61 137 B1**  
**EP 02 59 508 B1**

**JP 07034134 A (abstract). In: Patent Abstract of Japan [CD-ROM]; Zimmermann, R., Günter, K.: Metallurgie und Werkstofftechnik ein Wissensspeicher. Band 1.1. Aufl. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grungstoffindustrie, 1977, Seite 352;**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Anlage zum Härten von Übergangsradien einer Welle**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Härten von Übergangsradien einer Welle, insbesondere einer Kurbelwelle, wobei wenigstens ein Teil der Übergangsradien an Lagerstellen der Welle durch einen Härteprozess mit einer induktiven Härtung durch wenigstens einen Induktor, der wenigstens teilweise die Übergangsradien umfasst, gehärtet werden, dadurch gekennzeichnet, dass nach dem Härteprozess wenigstens ein Teil der Übergangsradien (3) durch Festwalzen mit Festwalzrollen (7), die eine Mindesthärte von 60 HRC aufweisen, nachverfestigt wird.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Härten von Übergangsradien einer Welle, insbesondere einer Kurbelwelle, wobei wenigstens ein Teil der Übergangsradien an Lagerstellen der Welle durch einen Härteprozess, insbesondere einer induktiven Härtung durch wenigstens einen Induktor, der wenigstens teilweise die Übergangsradien umfasst, gehärtet werden. Die Erfindung betrifft auch eine Anlage zur Durchführung des Verfahrens.

**Stand der Technik**

**[0002]** Das induktive Härten der Lagerstellen und Übergangsradien von Wellen, insbesondere Kurbelwellen, ist allgemein bekannt. Nur beispielsweise wird hierzu auf die DE 36 13 909 C1 und die DE 40 01 887 C2 verwiesen.

**[0003]** Eine Verfestigung von Übergangsradien durch Festwalzen mittels rotierender Walzwerkzeuge ist ebenfalls auf diesem Gebiet bereits bekannt. Hierzu wird beispielsweise auf die EP 1 262 280, EP 1 211 026, EP 0 661 137, EP 0 259 508 B1 und DE 102 35 957 A1 verwiesen.

**[0004]** Aus der DE 102 35 957 A1 ist ein Verfahren zum Härten einer Kurbelwelle und ein Festwalzen der Übergangsradien bekannt.

**[0005]** Gemäß der DE 103 08 124 B3 wird beim Festwalzen ein Zweischnittverfahren angewendet, wobei im zweiten Schritt mit einem sehr kleinen Anschmiegungsverhältnis der zweiten Festwalzrolle im Vergleich zu der ersten Festwalzrolle verfestigt wird. Auf diese Weise soll eine weitere plastische Verformung mit ca. 0,005 mm erreicht werden. Durch dieses Verfahren sollen Druckeigenspannungen an die Oberfläche verlagert werden mit dem Ziel, Anrisse zu verringern. Es hat sich jedoch herausgestellt, dass sich durch die starke plastische Verformung der Oberfläche sehr nachteilige Auswirkungen auf den Betrag einer möglichen Dauerfestigkeitserhöhung und damit verbunden auf die Oberflächenbeschaffenheit der hoch beanspruchten Radienübergänge ergeben. In der Praxis haben sich Aufschuppungen und Vorschädigungen der Oberfläche, speziell im Randbereich der plastischen Verformung, gezeigt. Durch die Verwendung des gewählten kleinen Anschmiegungsverhältnisses ergibt sich ein weiterer deutlicher Nachteil dahingehend, dass die Randzone der plastischen Verformung praktisch in den Radius verlagert wird. Dadurch werden die am Randbereich vorhandenen Zugeigenspannungen, welche den Druckeigenspannungen im Hauptbereich der Festwalzung gegenüberstehen, in den hoch beanspruchten Bereich der Übergangsradien verlagert, was dann zwangsläufig deren Beanspruchbarkeit beeinflusst.

**[0006]** Mit den zur Zeit bekannten Verfahren zur Dauerfestigkeitssteigerung, wie Härten, Nitrieren oder Festwalzen, die jeweils einzeln nach Anwendungsfall durchgeführt werden, erzielt man zwar Dauerfestigkeitssteigerungen, aber nicht in dem hohen Maße, wie es entsprechend der heutigen Bauweise, insbesondere im Kurbelwellenbau für die geforderten immer höhere Motorleistungen, gewünscht wird.

**[0007]** Eine Steigerung der Dauerfestigkeit mit einem Festwalzverfahren durch eine entsprechende Erhöhung der Festwalzkräfte scheitert an den zu starken plastischen Verformungen und damit hohen Schubspannungen, was für die Bauteile bezüglich ihrer Dauerfestigkeit nachteilig ist und weiterhin auch die Standzeit der Festwalzwerkzeuge sehr deutlich verringert. Es besteht sogar die Gefahr von vorzeitigem Werkzeugbruch und damit eine generelle Schädigung des zu härtenden Bauteils.

**[0008]** Dies bedeutet, dass insbesondere für Kurbelwellen mit den an sie gestellten immer höheren Anforderungen an die Biege- und Torsionsdauerfestigkeit ein Problem bezüglich Gewicht und Bauraum besteht, was bedeutet, dass Leistungssteigerungen nicht einfach über die Erhöhung der Widerstandsmomente, z.B. durch eine Erhöhung der Baugröße, erzielt werden können.

**Aufgabenstellung**

**[0009]** Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Härten der Übergangsradien von Wellen, insbesondere von Kurbelwellen, zu schaffen, mit dem eine deutliche Steigerung der Dauerfestigkeit erzielt werden kann und zwar ohne dass sich die Baugröße erhöht oder die Standzeit der Festwalzwerkzeuge beeinträchtigt wird.

**[0010]** Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, dass nach dem Härteprozess wenigstens ein Teil der Übergangsradien durch Festwalzen mit Festwalzrollen, die eine Mindesthärte von 60 HRC aufweisen, nachverfestigt werden.

**[0011]** In überraschender Weise hat sich gezeigt, dass trotz einer "vorgehärteten" Welle, insbesondere trotz Härtung der Übergangsradien, noch durch ein anschließendes Festwalzen mit Festwalzrollen der angegebenen Mindesthärte ein weitere Erhöhung der Dauerfestigkeit erzielt werden kann und zwar ohne dass die Festwalzwerkzeuge, insbesondere die Walzen, beschädigt werden bzw. deren Standzeit in erheblichem Maße darunter leidet. Dies wird durch eine optimierte Abstimmung der Parameter, wie Werkzeuge, Werkstoff, Beschichtungen, Abmessungen, Rollkräfte beim Festwalzen, Schmierung und Oberflächenhärte der zu härtenden Welle, erreicht.

**[0012]** Eine sehr vorteilhafte Möglichkeit hierfür besteht darin, dass das Festwalzen in zwei Schritten durchgeführt wird, wobei in einem ersten Schritt eine Vorformung mit Konturanpassung und Oberflächenglättung vorgenommen wird und im zweiten Schritt ein Festwalzen mit höherem Druck stattfindet.

**[0013]** Im ersten Schritt wird erfindungsgemäß mit einer kleineren Festwalzkraft zur "Vorformung" der plastischen Verformung der Übergangsradien gearbeitet und anschließend im zweiten Schritt erfolgt die Festwalzung mit der maximal erforderlichen Walzkraft zur Einbringung von maximalen Druckeigenstressungen.

**[0014]** Es hat sich dabei herausgestellt, dass mit dem erfindungsgemäßen Verfahren in vorteilhafter Weise in einem Antriebsverhältnis von 0,95 bis 1,0, vorzugsweise 0,98 bis 0,96, gearbeitet wird.

**[0015]** In vorteilhafter Weise wird man den ersten Festwalzschritt auch derart ausführen, dass der durch die plastische Verformung am Randbereich entstehende Aufwurf nach außen gearbeitet wird.

**[0016]** Vorzugsweise wird bei dem zweiten Festwalzschritt mit dem gleichen Radius der Festwalzrolle gearbeitet wie im ersten Schritt.

**[0017]** Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird eine deutliche Tiefenwirkung und damit deutliche Erhöhung der Festwalzkraft ohne weitere große plastische Verformung erreicht. Durch das erfindungsgemäße zweischrittige Verfahren wird durch den vorgeschalteten ersten Festwalzschritt eine sehr günstige Vorkontur geschaffen, auf welche dann die Festwalzung mit den erforderlichen hohen Festwalzkräften erfolgen kann.

**[0018]** Es hat sich auch als wesentlich herausgestellt, dass durch die Steuerung der Festwalzkraft über den Umfang entscheidend die Dauerfestigkeitserhöhung und speziell eine Standzeiterhöhung der Werkzeuge erreicht werden kann.

**[0019]** Erfindungsgemäß werden beim Festwalzen über den Umfang verteilt Hochdruck- und Niederdruckbereiche mit dazwischenliegenden Druckübergangszonen geschaffen. Es hat sich herausgestellt, dass es z.B. nicht erforderlich ist, beim Härten eines Hauptlagers, das in der Nähe eines oberen Totpunktes liegt, mit einem hohen Druck zu arbeiten. Es ist vielmehr ausreichend, in diesem Bereich eine Niederdruckzone zu bilden und im Gegensatz dazu im Bereich des unteren Totpunktes des Hauptlagers einen Hochdruckbereich zu schaffen, wobei zwischen diesen beiden Bereichen Druckübergangszonen vorgesehen werden können. Beim Verfestigen eines Pleuellagers ist es hingegen genau umgekehrt.

**[0020]** Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass aufgrund der großen Tiefenwirkung und Verlagerung der Druckeigenstressungen unter den gehärteten Randzonenbereich nunmehr die Übergangsradien tangierend in die dazugehörigen Lagerstellen einmünden können.

**[0021]** Im allgemeinen werden festgewalzte Übergangsradien nicht mehr überarbeitet. Bei der erfindungsgemäßen Kombination mit den daraus resultierenden wesentlich höheren Druckeigenstressungen und tiefergehenden Härtezone lässt sich im Bedarfsfall jedoch auch noch eine Überarbeitung bzw. Abtragen der Radien durchführen und zwar ohne dass es zu einer großen Reduzierung der Dauerfestigkeit kommt.

**[0022]** Nach dem Festwalzen können z.B. Lagerstellen mechanisch, z.B. durch Schleifen, bearbeitet werden. Ein Abtrag bis zu einer Tiefe von 0,2 bis 0,5 mm kann dabei vorgenommen werden. Dabei wurde festgestellt, dass bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kein besonderer Dauerfestigkeitsverlust verursacht wird.

**[0023]** Neben dem induktiven Härten der Übergangsradien können auch die zylindrischen Bereiche der Lagerstellen selbst gehärtet werden. Durch die Erfindung ist es jedoch auch möglich, gegebenenfalls auf eine (induktive) Härtung der zylindrischen Bereiche der Lagerstellen zu verzichten. Im letzteren Falle besteht der Vorteil darin, dass die Überarbeitung der zylindrischen Bereiche der Lagerstellen als weiche Ausführung überarbeitet werden können, weshalb dann z.B. nicht geschliffen werden muss.

**[0024]** Ein Hauptvorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens liegt in einer entsprechenden Gewinnung von Breite der tragfähigen zylindrischen Lagerstellen oder in einer entsprechend verkürzten Ausführung der gehärteten Welle.

**[0025]** In überraschender Weise wurde festgestellt, dass aufgrund des erfindungsgemäßen Verfahrens, nämlich der Kombination einer vorangegangenen Härtung, z.B. einer induktiven Härtung, mit anschließendem Festwalzen das beim Stand der Technik nachteilige Problem von vorzeitigen oberflächennahen Anrissen, deutlich reduziert werden kann. Es wurde in der Praxis festgestellt, dass sie zum einen geringer ausgeprägt sind und zum anderen erst bei höherem Belastungsniveau auftreten.

**[0026]** Auch die im allgemeinen beim Aufbringen von hohen Festwalzkräften auftretenden Aufschuppungen und Versprödungen der Oberflächen der Radien treten beim erfindungsgemäßen Verfahren nicht ein.

**[0027]** Trotz einer extrem hohen Flächenpressung

wird die plastische Verformung sehr klein gehalten, was sich wiederum über eine geringere Kerbwirkung sehr positiv auf die Dauerfestigkeit auswirkt.

#### Ausführungsbeispiel

**[0028]** Vorteilhafte weitere Ausgestaltungen ergeben sich aus den übrigen Unteransprüchen und aus dem nachfolgend anhand der Zeichnung prinzipmäßig beschriebenen Ausführungsbeispiel.

**[0029]** Es zeigt:

**[0030]** [Fig. 1](#) ausschnittsweise eine Kurbelwelle mit einer Lagerstelle und Übergangsradien während des Härtevorgangs mit einem Induktor;

**[0031]** [Fig. 2](#) ausschnittsweise eine Kurbelwelle mit einer Lagerstelle und Übergangsradien während des Härtevorgangs durch Festwalzen;

**[0032]** [Fig. 3](#) ein Festwalzwerkzeug in einem ersten Arbeitsschritt;

**[0033]** [Fig. 4](#) ein Festwalzwerkzeug in einem zweiten Arbeitsschritt;

**[0034]** [Fig. 5](#) eine Ausschnittsvergrößerung durch eine Lagerstelle und zwei Übergangsradien mit Angabe der Härtezone;

**[0035]** [Fig. 6](#) eine Ausschnittsvergrößerung durch eine Lagerstelle und zwei tangentialen Übergangsradien;

**[0036]** [Fig. 7](#) eine Prinzipdarstellung in Stirnansicht einer Kurbelwelle mit Angabe der Verfestigungsbereiche;

**[0037]** [Fig. 8](#) eine Ablaufcharakteristik für ein Festwalzen in einem Hauptlager nach [Fig. 7](#);

**[0038]** [Fig. 9](#) eine Darstellung ähnlich der [Fig. 7](#) mit den Verfestigungsbereichen für ein Pleuellager; und

**[0039]** [Fig. 10](#) eine Ablaufcharakteristik für ein Festwalzen in einem Pleuellager nach [Fig. 9](#).

**[0040]** Ein Induktionshärteverfahren und eine Anlage hierfür mit einem Induktor ist allgemein bekannt, weshalb in der [Fig. 1](#) nur prinzipmäßig die wesentlichen Teile dargestellt sind. Eine Kurbelwelle **1** weist mehrere Lagerstellen **2** auf, wobei sich im Bereich der Lagerstellenränder im Übergang zu Wangen der Kurbelwelle **1** Übergangsradien **3** befinden. Ein Induktor **4**, der über eine nicht näher dargestellte Vorrichtung der Kurbelwelle **1** in Pfeilrichtung zugestellt wird, härtet durch Induktion die Lagerstelle **2** und durch seitliche Heizspulen **5** auch die Übergangsradien **3**.

**[0041]** In bekannter Weise können gegebenenfalls auch die Lagerstellen **2** mit einem Induktor gehärtet werden, wobei wenigstens eine Heizspirale **5'** im Bereich der jeweiligen Lagerstelle **2** angeordnet ist (gestrichelt dargestellt).

**[0042]** Die [Fig. 2](#) zeigt die gleiche Ansicht der Kurbelwelle **1** wie in der [Fig. 1](#) dargestellt, wobei anschließend an den induktiven Härteprozess eine Verfestigung der Übergangsradien **3** durch ein Festwalzen vorgenommen wird. Hierzu dient ein an sich bekanntes Festwalzwerkzeug **6**, das mit mehreren Festwalzen **7** versehen ist, die um Achsen **8** rotieren. Gleichzeitig läuft das Festwalzwerkzeug **6** in Umfangsrichtung um die Kurbelwelle **1**, so dass mit einem entsprechenden Anpressdruck der Festwalzen **7** eine Verfestigung der Übergangsradien **3** in bekannter Weise erreicht wird.

**[0043]** Die Verfestigung über die Festwalzen **7** wird in einem Arbeitsverfahren mit zwei Schritten durchgeführt. Die [Fig. 3](#) zeigt den ersten Schritt, wobei eine Festwalzrolle **7a** eine Vorformung, nämlich eine Konturanpassung und Oberflächenglättung durchführt. Die Vorformung wird dabei so gestaltet, dass ein durch die plastische Verformung am Randbereich entstehende Aufwurf **10** nach dem Schneepflugprinzip nach außen gearbeitet wird, wie dies aus der [Fig. 3](#) ersichtlich ist. Der Aufwurf **10** kann später an Bereichen, an denen er stört, abgearbeitet werden, z.B. durch Schleifen.

**[0044]** Nach dem ersten Verfestigungsschritt erfolgt gemäß [Fig. 4](#) ein zweiter Schritt, wobei eine Festwalzrolle **7b**, die den gleichen Radius im vorderen Bereich aufweist wie die Festwalzrolle **7a** gemäß [Fig. 3](#), in den Übergangsradius **3** mit einer höheren Festwalzkraft eingedrückt wird. Die Längsachsen der Festwalzrollen **7a** und **7b** können in einem Winkel von 35° zu einer Ebene liegen, die senkrecht zur Längsachse der Kurbelwelle **1** liegt.

**[0045]** Die Festwalzrollen **7a** und **7b** sollten eine Mindesthärte von 60 HRC (Härte nach Rockwell C-Verfahren) besitzen. Die Härte der Kurbelwelle **1** kann in einem Oberflächenhärtungsbereich von 50 bis 56 HRC liegen. Es kann jedoch auch im Bedarfsfall eine Härte bis zu 59 HRC vorgesehen werden, wobei nach unten geringere Härten bis zu ca. 40 HRC ebenfalls möglich sind.

**[0046]** Die [Fig. 5](#) zeigt in einer vergrößerten Darstellung Härtezone **9** in den Übergangsradien **3**, wie diese nach dem induktiven Härten und nach dem Festwalzen in den vorstehend genannten zwei Stufen vorhanden sind.

**[0047]** Die Übergangsradien **3** können tangierend in die Lagerstelle **2** übergehen. Die Lagerstelle **2** kann in üblicher Weise nach dem Festwalzen noch, z.B.

durch Schleifen, 0,2 bis 0,5 mm abgearbeitet werden, wie dies durch die Pfeile und die gestrichelte Linie angedeutet ist.

**[0048]** Gleiches gilt für eine Abarbeitung seitlich an den Wangen, wie dies ebenfalls durch die Pfeile angedeutet ist.

**[0049]** Die [Fig. 6](#) zeigt in einer Ausschnittsvergrößerung eine Lagerstelle mit zwei tangentialen Übergangsradien im Vergleich zu hinterlegten bzw. mit Übergängen versehenen Radien nach dem Stand der Technik. In der [Fig. 6](#) sind die hinterlegten Radien gestrichelt mit R2 dargestellt, die tangentialen Übergangsradien mit R1.

**[0050]** Durch das erfindungsgemäße Verfahren sind nunmehr tangentiale Übergangsradien **3** möglich, wobei bei gleichzeitiger Erhöhung der Dauerfestigkeit auch die Lagerbreite von B<sub>2</sub> auf B<sub>1</sub> erhöht werden kann. Dies bedeutet, aufgrund der höheren Lagerbreite kann die Lagerstelle mehr Last aufnehmen bzw. ergibt sich eine höhere Lebensdauer. Durch die tangentiale Einleitung des Radius R1 in die Lagerstelle **2** erhält diese entsprechend eine größere Breite B<sub>1</sub>, während durch die hinterlegten Radien R2 die Lagerbreite B<sub>2</sub> entsprechend geringer ist.

**[0051]** Die Tiefe der Härtezone **9** kann in Abhängigkeit vom Kurbelwellenradius zwischen 0,5 und 4,0 mm betragen. Selbstverständlich sind hier auch noch andere Werte möglich.

**[0052]** Als Antriebsverhältnis zwischen Kurbelwellenradius und Festwalzenradius kann in vorteilhafter Weise ein Bereich zwischen 0,96 und 0,98 gewählt werden. Im Bedarfsfalle ist jedoch auch ein Antriebsverhältnis von 1,0 möglich.

**[0053]** Die [Fig. 7](#) bis [Fig. 10](#) zeigen den Verlauf einer Dauerfestigkeitserhöhung über den Umfang einer Kurbelwelle **1** und zwar für den Anwendungsfall eines Hauptlagers gemäß [Fig. 7](#) und eines Pleuellagers gemäß [Fig. 9](#). Die [Fig. 8](#) und [Fig. 10](#) zeigen jeweils dazu die Ablaufcharakteristik bei einer Überwälzung im Hauptlager gemäß [Fig. 8](#) und bei einer Überwälzung im Pleuellager gemäß [Fig. 7](#) und zwar in einer 60°-Teilung.

**[0054]** Auf den Abszissen der [Fig. 8](#) und [Fig. 10](#) ist jeweils der Verlauf über 360° des Umfangs angegeben und auf den Ordinaten ist die Festwalzkraft angegeben.

**[0055]** Gemäß den [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) ist ersichtlich, dass bei einem Hauptlager, das sich in der Nähe bzw. im Bereich eines UT (unterer Totpunkt der Kurbelwelle **1**) befindet, von A bis B (von 0° bis 25°) eine geringe Festwalzkraft vorhanden ist. In der Zone zwischen B und C (25° bis 50°) liegt eine Druckübergangszone

vor, wonach in der Zone C bis D (50° bis 200°) ein Bereich hoher kontinuierlicher Festwalzkraft eingestellt ist. Anschließend erfolgt zwischen D und E (200° bis 225°) eine Druckübergangszone mit abfallendem Druck. In der Zone E bis A (225° bis 360°) liegt wieder ein Niederdruck vor, der der Niederdruckzone zwischen A und B entsprechen kann, wobei sich wiederum bei 360° bzw. 0° der UT befindet.

**[0056]** Wie ersichtlich, liegt im Bereich des OT (oberer Totpunkt der Kurbelwelle **1**) die höchste Festwalzkraft vor.

**[0057]** Die [Fig. 9](#) und [Fig. 10](#) zeigen eine ähnliche Ablaufcharakteristik, wobei jedoch hier bei einem Pleuellager die höchste Festwalzkraft in der Zone H bis I (85° bis 305°) im Bereich des UT (unterer Totpunkt) auftritt, während in den Zonen F bis G (0° bis 60°) und J bis S (330° bis 360°) eine Niederdruckzone vorliegt, womit der OT (obere Totpunkt) betroffen ist. In den Zonen G bis H (60° bis 85°) und F bis J (305° bis 330°) liegen wieder Druckübergangszonen mit ansteigendem bzw. absteigendem Bereich vor.

**[0058]** Mit den in den [Fig. 7](#) bis [Fig. 10](#) dargestellten Ablaufcharakteristiken wird auf die Härteanforderungen einer Kurbelwelle auf optimale Weise eingegangen.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Härten von Übergangsradien einer Welle, insbesondere einer Kurbelwelle, wobei wenigstens ein Teil der Übergangsradien an Lagerstellen der Welle durch einen Härteprozess mit einer induktiven Härtung durch wenigstens einen Induktor, der wenigstens teilweise die Übergangsradien umfasst, gehärtet werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass nach dem Härteprozess wenigstens ein Teil der Übergangsradien (**3**) durch Festwalzen mit Festwalzenrollen (**7**), die eine Mindesthärte von 60 HRC aufweisen, nachverfestigt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Festwalzen in zwei Schritten durchgeführt wird, wobei in einem ersten Schritt eine Vorformung mit Konturanpassung und Oberflächenglättung vorgenommen wird und im zweiten Schritt ein Festwalzen mit höherem Druck stattfindet.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass im ersten Schritt des Festwalzverfahrens der durch die Verformung am Randbereich entstehende Aufwurf (**10**) nach außen gearbeitet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Festwalzen im zweiten Schritt mit dem gleichen Radius erfolgt wie im ersten Schritt.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,

dadurch gekennzeichnet, dass das Festwalzen über den Umfang gesteuert mit unterschiedlicher Walzkraft erfolgt.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass beim Festwalzen der Übergangsradien (3) einer Kurbelwelle (1) über den Umfang Hochdruckbereiche und Niederdruckbereiche mit dazwischenliegenden Druckübergangszonen vorgesehen werden.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass im Bereich des oberen Totpunktes eines Hauptlagers der Kurbelwelle (1) ein Niederdruckbereich und im Bereich des unteren Totpunktes ein Hochdruckbereich beim Festwalzen vorgesehen wird mit dazwischenliegenden Druckübergangszonen.

8. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass im Bereich des unteren Totpunktes eines Pleuellagers der Kurbelwelle (1) ein Niederdruckbereich und im Bereich des oberen Totpunktes ein Hochdruckbereich beim Festwalzen vorgesehen wird mit dazwischenliegenden Druckübergangszonen.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen Festwalzenradius und Kurbelwellenradius ein Antriebsverhältnis von 1,0 bis 0,95, vorzugsweise 0,98 bis 0,96, vorgesehen wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Übergangsradien (3) tangierend zum angrenzenden Bauteil ausgebildet werden.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Oberflächenhärte der Welle (1) beim Festwalzen in einem Bereich von 40 bis 59 HRc, vorzugsweise zwischen 50 und 56 HRc, gewählt wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass als Härtezone für die Übergangsradien (3) eine Tiefe von 0,5 bis 4,0 mm vorgesehen wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Lagerstellen (2) nach dem Festwalzen in einem Abtragsverfahren derart fertiggestellt werden, dass sich tangentielle Übergänge zu den Übergangsradien ergeben.

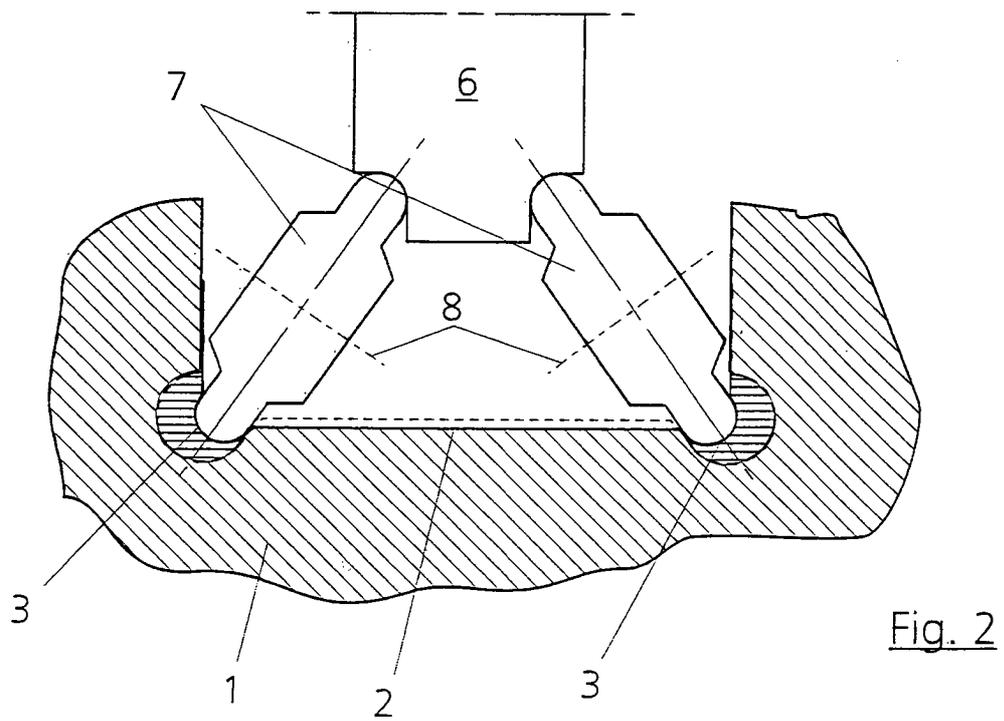
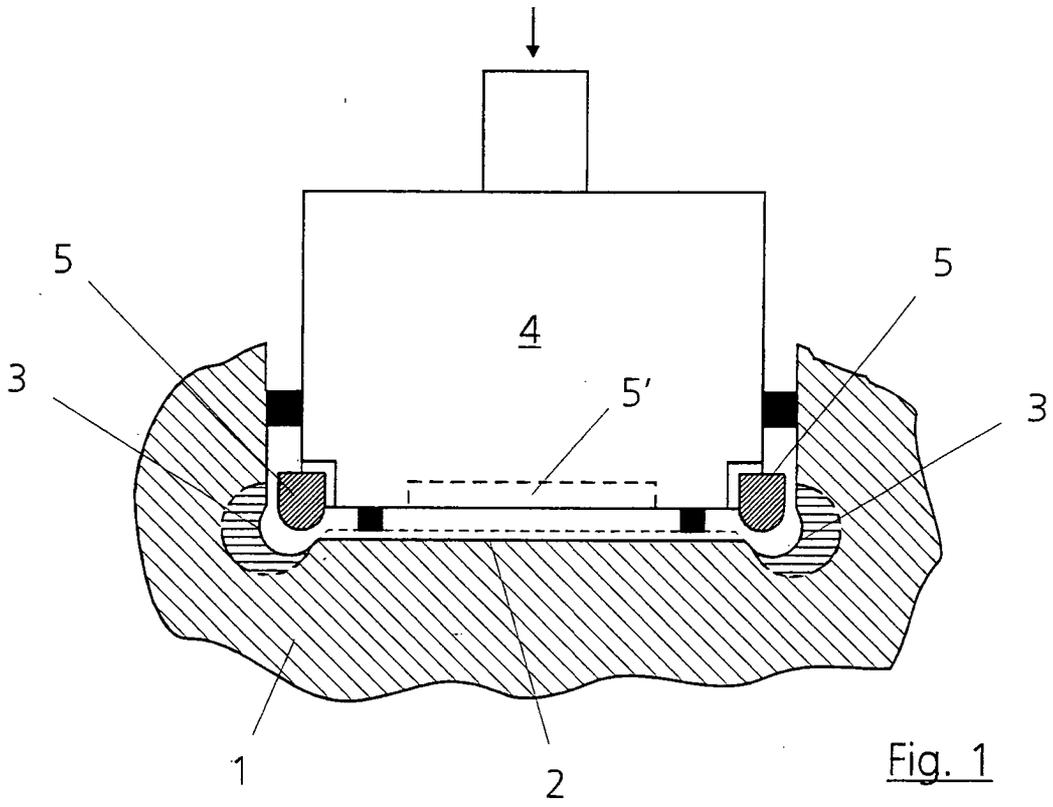
14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Abtragung der Lagerstellen (2) bis zu einer Tiefe von 0,2 bis 0,5 mm erfolgt.

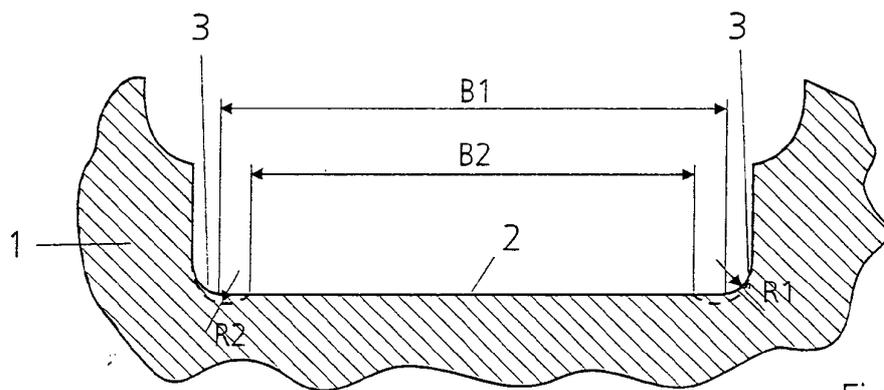
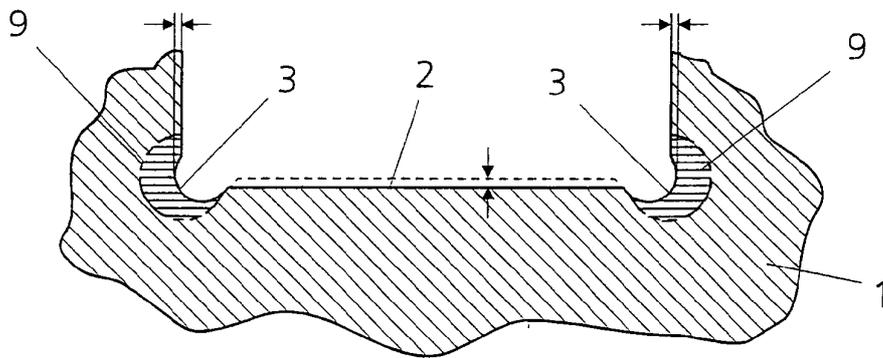
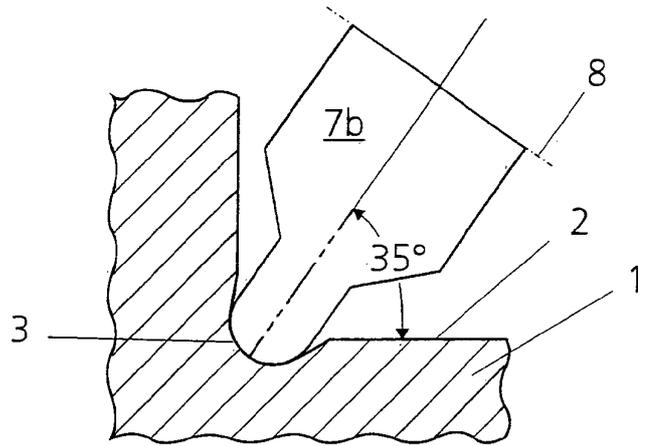
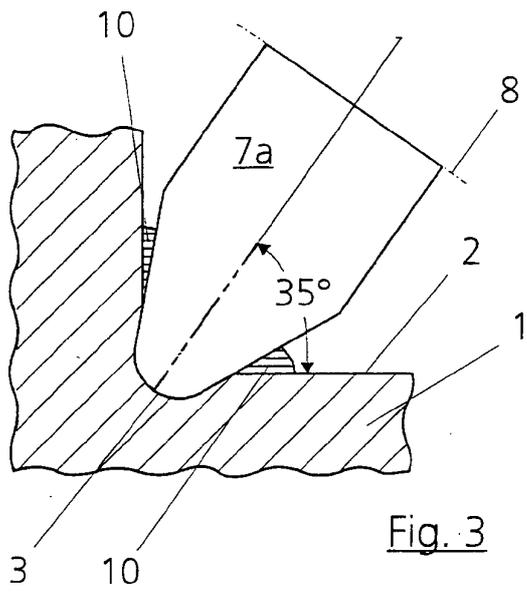
15. Anlage zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 14 mit einer Härtevorrichtung (4), die wenigstens einen Induktor (5) auf-

weist, welcher die zu härtenden Übergangsradien (3) wenigstens teilweise umfasst, und einem Festwalzwerkzeug (6), das mehrere rotierende Festwalzrollen (7) mit einer Mindesthärte von 60 HRc aufweist, die in die Übergangsradien (3) eingedrückt sind und die sich über den Umfang der Übergangsradien (3) abrollen.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen





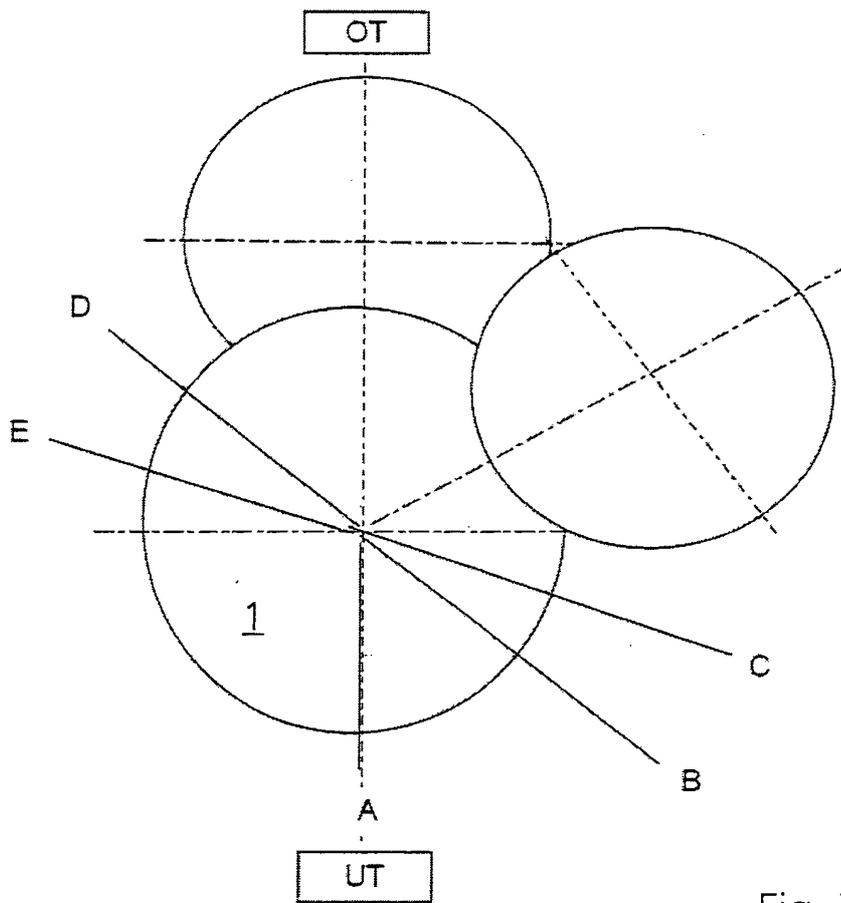


Fig. 7

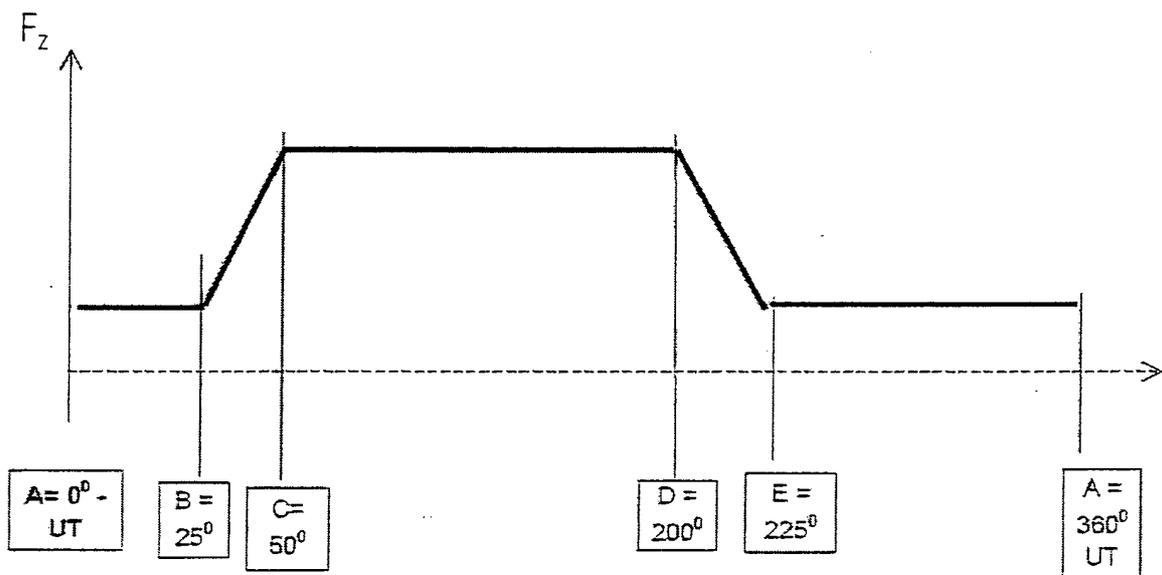


Fig. 8

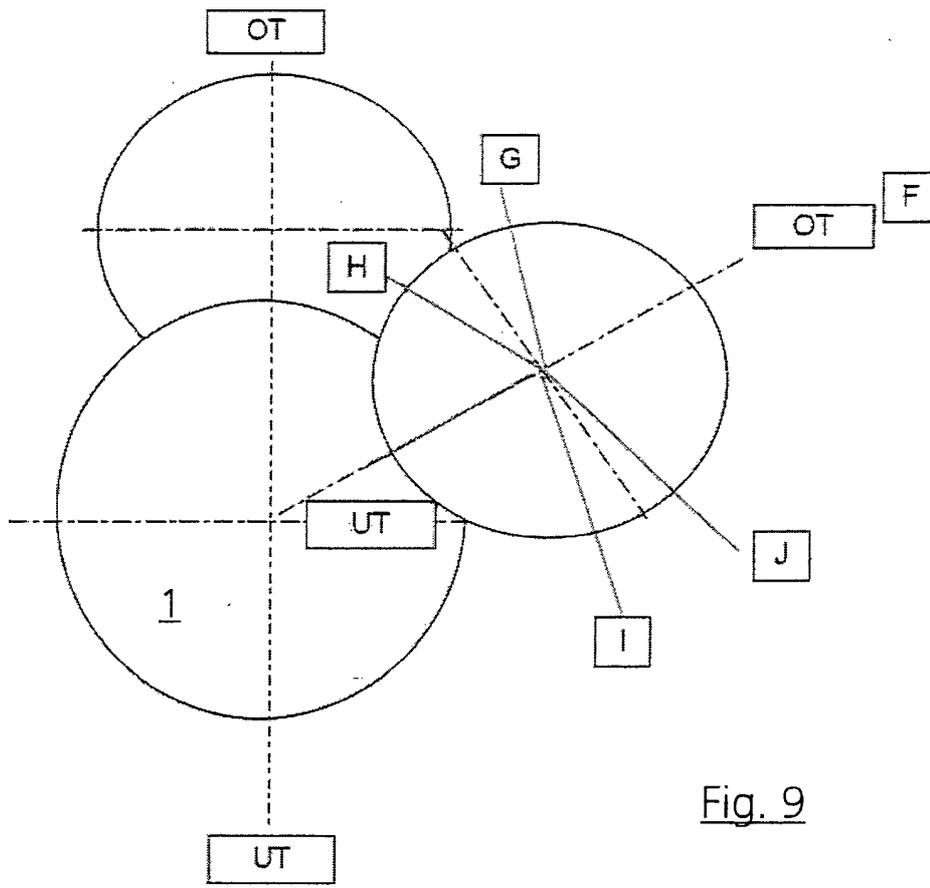


Fig. 9

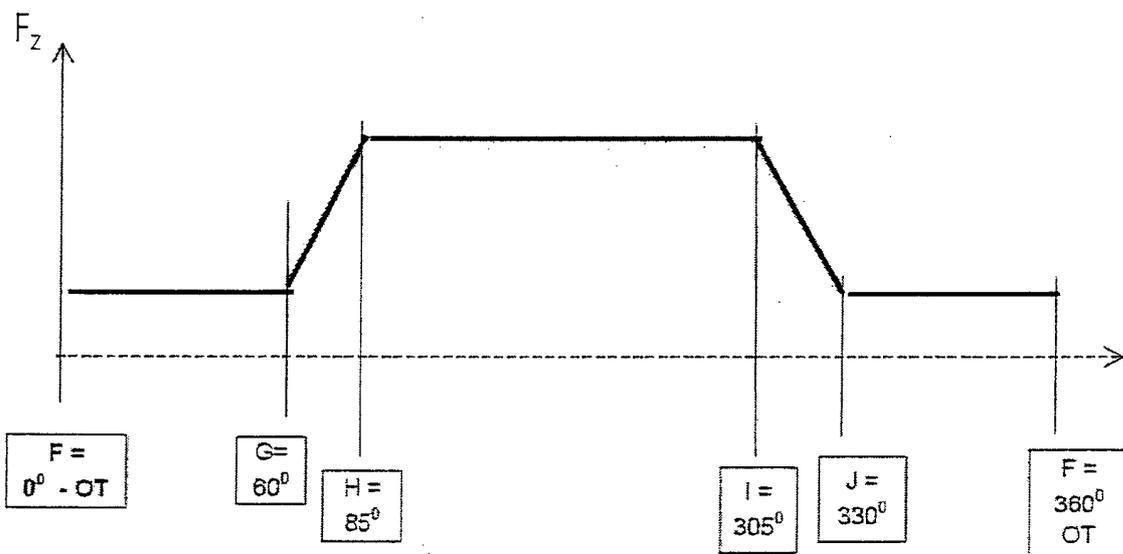


Fig. 10