

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 1 419 281 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

05.01.2005 Patentblatt 2005/01

(51) Int Cl.7: **C23C 8/22, C23C 8/80**

(86) Internationale Anmeldenummer:

PCT/EP2002/009087

(21) Anmeldenummer: **02774512.4**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:

WO 2003/016582 (27.02.2003 Gazette 2003/09)

(22) Anmeldetag: **14.08.2002**

(54) **VERFAHREN ZUM ERHÖHEN DER DYNAMISCHEN BELASTBARKEIT EINES VERZAHNTEN BAUTEILS**

METHOD FOR INCREASING THE DYNAMIC STABILITY UNDER LOAD OF A TOOTHED STRUCTURAL COMPONENT

PROCEDE PERMETTANT D'AUGMENTER LA CHARGE DYNAMIQUE D'UN ELEMENT STRUCTURAL DENTE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE FR IT

(30) Priorität: **17.08.2001 DE 10140444**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
19.05.2004 Patentblatt 2004/21

(73) Patentinhaber: **ZF FRIEDRICHSHAFEN Aktiengesellschaft**
88038 Friedrichshafen (DE)

(72) Erfinder:
• **KLEFF, Jörg**
88048 Friedrichshafen (DE)

• **WIEDMANN, Dieter**
88048 Friedrichshafen (DE)
• **WEISS, Alois**
88048 Friedrichshafen (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
DE-A- 4 227 447

• **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 013, no. 241 (C-604), 6. Juni 1989 (1989-06-06) & JP 01 052056 A (MITSUBISHI MOTORS CORP), 28. Februar 1989 (1989-02-28)**

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

EP 1 419 281 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erhöhen der in Abhängigkeit des Kohlenstoffgehalts stehenden dynamischen Belastbarkeit eines verzahnten Bauteils aus einsatzhärtem Stahl.

[0002] Aus der Praxis ist bekannt, die dynamische Belastbarkeit von Bauteilen dadurch zu steigern, daß bei einem Einsatzhärten eine harte, verschleißfeste Randschicht mit einem ausreichend zähen Kern erzeugt wird. Dazu wird die Randschicht aufgekühlt und das Bauteil anschließend gehärtet. Für mechanisch hoch beanspruchte Bauteile, wie insbesondere Zahnräder und Wellen, stellt das Einsatzhärten von legierten Einsatzstählen eine Lösung dar, mit der höchste Belastbarkeiten erreicht werden.

[0003] Beim Einsatzhärten wird bislang ein Verlauf des Kohlenstoffgehalts in der Randschicht eingestellt, der an der Oberfläche eines Bauteils den maximalen Kohlenstoffgehalt aufweist. Mit zunehmendem Abstand von der Oberfläche in Richtung des Kerns der Bauteile nimmt der Kohlenstoffgehalt kontinuierlich ab.

[0004] JP 01052056 offenbart ein Verfahren zum Abtragen einer aufgekühlten Schicht. Die aufgekühlte Schicht wird mittels der mechanischen Fertigung entfernt.

[0005] In ISO 6336-5, First Edition 1996-06-15, ist ein Kohlenstoffgehalt an der Oberfläche festgelegt, der +0,2 % bis -0,1 % vom Eutektoidpunkt des Zustandschaubildes von Einsatzstählen liegt und eine hohe dynamische Belastbarkeit gewährleistet. Dadurch ergibt sich insbesondere für Chromnickel-Einsatzstähle ein bevorzugter Kohlenstoffgehalt von etwa 0,8 %.

[0006] Weiter ist aus der Praxis bekannt, daß der Kohlenstoffgehalt an der Oberfläche und in der Randschicht die Belastbarkeit von Zahnfuß und Zahnflanke eines Zahnrads in unterschiedlicher Weise beeinflusst. Für Chromnickel-Einsatzstähle ist bekannt, daß eine maximale Zahnfußtragfähigkeit bei einem Kohlenstoffgehalt an der Oberfläche eines Bauteils von 0,6 % vorliegt und mit zunehmendem Kohlenstoffgehalt abnimmt. Eine Zahnflankentragfähigkeit nimmt hingegen mit steigendem Randkohlenstoffgehalt von 0,6 % bis 0,9 % stetig zu.

[0007] Dadurch ergibt sich für die bekannten Serienwärmebehandlungsverfahren von Chromnickel-Einsatzstählen der Nachteil, daß eine Einstellung einer maximalen bzw. optimalen Zahnflankentragfähigkeit zu einer Reduzierung der Zahnfußtragfähigkeit führt, da über ein Einsatzhärten ein Randkohlenstoffgehalt in der Randschicht des gesamten Bauteils im wesentlichen gleichmäßig eingestellt wird. Wenn der Kohlenstoffgehalt in der Randschicht eines Zahnrads derart eingestellt wird, daß ein Maximum der Zahnfußtragfähigkeit vorliegt, geht dies wiederum zu Lasten der Zahnflankentragfähigkeit.

[0008] Um diesen Nachteil bei hochbelasteten Verzahnungen zu beseitigen, ist dazu übergegangen wor-

den, die Zahnflankentragfähigkeit über den Kohlenstoffgehalt in der Randzone zu maximieren und die Zahnfußtragfähigkeit von Verzahnungen durch ein nachträgliches Verfestigungsstrahlen im Bereich des Zahnfußes zu erhöhen.

[0009] Nachteilig dabei ist jedoch, daß durch das dem Einsatzhärten nachgeschaltete Verfestigungsstrahlen des Zahnfußes von Verzahnungen erhebliche Mehrkosten in der Fertigung entstehen.

[0010] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Verfahren zum Erhöhen der in Abhängigkeit des Kohlenstoffgehalts stehenden dynamischen Belastbarkeit eines verzahnten Bauteils aus einsatzhärtem Stahl zur Verfügung zu stellen, welches ein nachträgliches Verfestigungsstrahlen erübrigt und eine preisgünstigere Produktion eines Bauteils oder die Erhöhung der dynamischen Belastbarkeit ermöglicht.

[0011] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe mit einem Verfahren gemäß den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst.

[0012] Das erfindungsgemäße Verfahren zum Erhöhen der in Abhängigkeit des Kohlenstoffgehalts stehenden dynamischen Belastbarkeit eines verzahnten Bauteils, beispielsweise eines Zahnrads aus einsatzhärtem Stahl, wobei zunächst der Verlauf des Kohlenstoffgehalts in der Randschicht des Bauteils derart eingestellt wird, daß der Kohlenstoffgehalt, ausgehend von der Oberfläche in Richtung des Kerns des Bauteils, zunächst zunimmt und ab einer bestimmten Schichttiefe kontinuierlich abnimmt, und bei dem anschließend ein Teil der Randschicht in Bereichen des Bauteils, insbesondere im Bereich der Zahnflanken, abgetragen wird, deren dynamische Belastbarkeit mit steigendem Kohlenstoff an der Oberfläche des Bauteils zunimmt, bietet den Vorteil, daß an der Oberfläche des Bauteils ein optimierter Randkohlenstoffgehalt vorliegt, der jeweils einen maximalen Wert der Tragfähigkeit des betreffenden Bauteilbereichs gewährleistet.

[0013] Mit dem erfindungsgemäßen Einstellen des Kohlenstoffgehalts und dem anschließenden Hartbearbeiten bestimmter Bereiche des Bauteils kann auf ein die Tragfähigkeit erhöhendes Veredelungsverfahren, welches eine Zunahme der Fertigungskosten zur Folge hat, in vorteilhafter Weise verzichtet werden.

[0014] Darüber hinaus ist durch die erhöhte Festigkeit des mit dem erfindungsgemäßen Verfahren behandelten Bauteils auch eine Gewichtsreduktion möglich, da für die gleiche Festigkeit weniger Materialeinsatz erforderlich ist.

[0015] Weitere Vorteile und vorteilhafte Ausgestaltungen des Gegenstandes nach der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung, den Patentansprüchen und der Zeichnung.

[0016] In der einzigen Figur der Zeichnung ist beispielhaft ein Verlauf 2 des Kohlenstoffgehalts in der Randschicht eines nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Bauteils einem anderen Verlauf 1 mit einem aus der Praxis bekannten Einsatzhärtever-

fahren erzeugten Kohlenstoffgehalts eines anderen Bauteils gegenübergestellt.

[0017] Die zwei Verläufe 1, 2 des Kohlenstoffgehalts in der Randschicht eines Zahnrads sind von dessen Oberfläche zu einem Kern hin dargestellt. Dabei ist der Gehalt an Kohlenstoff (in Prozent) über dem Randabstand von der Oberfläche des Zahnrads (in Millimeter) aufgetragen.

[0018] Der Verlauf 1 gibt einen Kohlenstoffgehalt C in der Randschicht des Zahnrads wieder, welches durch ein konventionelles Einsatzhärteverfahren hergestellt wurde. Dieser Verlauf 1 weist ein Maximum des Kohlenstoffgehalts C im unmittelbaren Bereich der Oberfläche des Zahnrads auf und der Kohlenstoffgehalt C nimmt mit zunehmendem Randabstand stetig und wenigstens annähernd linear ab.

[0019] Der Verlauf 2 des Kohlenstoffgehalts C in der Randzone eines Zahnrads ist mittels des modifizierten Einsatzhärteverfahrens mit Randabkühlung eingestellt und derart ausgebildet, daß der Kohlenstoffgehalt, ausgehend von der Oberfläche des Zahnrads, in Richtung des Kerns zunächst zunimmt und ab einer bestimmten Schichttiefe, im vorliegenden Fall beispielhaft bei einem Randabstand von etwa 0,15 mm, ein Maximum von 0,7 % Kohlenstoff aufweist. Ausgehend von diesem Maximum nimmt der Kohlenstoffgehalt in Richtung des Kerns des Zahnrads kontinuierlich ab. Die sogenannte Randabkühlung wird durch ein starkes Absenken des Kohlenstoffgehalts der Atmosphäre des Aufkohlungsmittels in der letzten Stufe des Einsatzhärteverfahrens, beispielsweise während des Haltens auf Härtetemperatur, eingestellt bzw. erzeugt.

[0020] Im folgenden wird das erfindungsgemäß modifizierte Einsatzhärteverfahren beispielhaft näher beschrieben.

[0021] Das Zahnrad aus einsatzhärtbarem Stahl, beispielsweise 18 CrNiMo 88, ist während des gesamten Einsatzhärtens in einem Wärmeofen von einem gasförmigen Aufkohlungsmittel umgeben, dessen Kohlenstoffgehalt während der einzelnen Phasen des Einsatzhärteverfahrens verändert wird.

[0022] Das Einsatzhärteverfahren umfaßt die an sich bekannten Phasen, nämlich eine Aufheizphase, eine Aufkohlphase, eine Abkühlphase und eine Haltephase auf Härtetemperatur des Bauteils, wobei diese aufeinanderfolgenden Phasen jeweils über eine bestimmte Zeitdauer bei vorgegebenen Temperaturen und verschiedenem Kohlenstoffgehalt der Gas-Atmosphäre durchgeführt werden.

[0023] So ist es gängige Praxis, daß der Kohlenstoffgehalt zunächst während der Aufheizphase kleiner ist als während der sich daran anschließenden Aufkohlphase. Der Kohlenstoffgehalt kann in der Aufheizphase beispielsweise 0,4 % betragen.

[0024] Die sich daran anschließende Aufkohlphase ist bekannterweise und bevorzugt in vier Abschnitte bzw. Stufen unterteilt, wobei der Kohlenstoffgehalt in den ersten drei Stufen von 0,4 % schrittweise auf 0,6 %

und schließlich auf einen Wert von 1,1 % angehoben wird, und wobei die Zeitspanne, in der ein Kohlenstoffgehalt von 1,1 % eingestellt wird, das fünfzehnfache der Zeitspanne, in der ein Kohlenstoffgehalt von 0,6 % eingestellt wird, betragen kann. In einem letzten zeitlichen, kurzen Abschnitt der Aufkohlphase wird dieser wieder auf einen Wert von 1,0 % reduziert. Die Temperaturen der Aufheizphase und der Aufkohlphase liegen bei dem beschriebenen Ausführungsbeispiel in etwa bei 930 °C.

[0025] Während der sich an die Aufkohlphase anschließenden Abkühlphase entspricht der Kohlenstoffgehalt dem des letzten Abschnittes bzw. der letzten Periode der Aufkohlphase.

[0026] Die Haltephase, während der das Zahnrad auf Härtetemperatur gehalten wird, unterteilt sich wiederum in mehrere Abschnitte bzw. Stufen, wobei der Kohlenstoffgehalt der Atmosphäre des gasförmigen Aufkohlungsmittels in einem ersten Abschnitt auf einen Wert von 0,4 % eingestellt wird. In einem zweiten Abschnitt der Haltephase wird der Kohlenstoffgehalt des Aufkohlungsmittels auf 0,3 % abgesenkt, wobei der zweite Abschnitt der Haltephase einen längeren Zeitraum als der erste Abschnitt der Haltephase umfaßt, und z. B. nahezu doppelt so lang wie der erste Abschnitt dauern kann. Die Temperatur der Abkühlphase und der Haltephase entspricht in etwa 860 °C.

[0027] Hierbei ist anzumerken, daß die einzelnen, zahlenmäßig angeführten Prozeßparameter des Einsatzhärteverfahrens und die Dauer der einzelnen Phasen in Abhängigkeit des jeweils verwendeten Ofentyps stehen und dementsprechend variieren, wobei die Tendenzen bei der Verwendung verschiedener Ofentypen gleichbleiben.

[0028] Nach der Haltephase wird das Zahnrad in Öl direkt gehärtet und anschließend bei etwa 170 °C für 90 Minuten angelassen.

[0029] Nach dem Einsatzhärten wird das verzahnte Bauteil, beispielsweise ein Zahnrad, im Bereich der Zahnflanken hart bearbeitet, wobei der Materialabtrag der Randzone etwa dem Bereich der Randabkühlung entspricht. Als Bearbeitungsverfahren ist hierbei bevorzugt ein Schleifverfahren vorgesehen, welches in der Praxis bisher zur Verbesserung der Oberflächengüte der Zahnflanken vorgesehen ist. Der Bereich des Zahnfußes wird in der Regel nicht nachträglich bearbeitet. Das heißt, das aus dem Stand der Technik bekannte kostenintensive Verfestigungsstrahlen kann vermieden werden und somit fallen im Vergleich zu herkömmlichen Fertigungsverfahren keine zusätzlichen Kosten für das Verfestigungsstrahlen an.

[0030] Mit dem vorbeschriebenen Einsatzhärteverfahren wird der Verlauf 2 des Kohlenstoffgehalt im gesamten Randbereich des Zahnrads eingestellt. Das bedeutet, daß sowohl im Bereich der Zahnflanke als auch im Bereich des Zahnfußes an der Oberfläche ein Kohlenstoffgehalt von etwa 0,5 % bis 0,6 % vorliegt. Bei einem Kohlenstoffgehalt von 0,6 % an der Oberfläche eines Zahnrads erreicht eine Zahnfußtragfähigkeit ihren

maximalen Wert. Ein höherer Kohlenstoffgehalt bei Stählen, insbesondere CrNi-Stählen, hat eine Abnahme der Zahnfußtragfähigkeit zur Folge. Damit ist mit dem Einsatzhärteverfahren mit Randabkühlung für die Zahnfußtragfähigkeit ein maximaler Wert erreicht.

[0031] Die Zahnflankentragfähigkeit weist ihren maximalen Wert bei einem Kohlenstoffgehalt in einem Bereich von 0,6 % bis 0,9 % auf, wobei die Zahnflankentragfähigkeit, ausgehend von einem Kohlenstoffgehalt von 0,6 %, mit steigendem Kohlenstoffanteil in der Randzone stetig zunimmt. Das bedeutet, daß vor dem Materialabtrag eine Zahnflankentragfähigkeit bei einem Kohlenstoffgehalt von 0,6 % im Bereich der Oberfläche der Zahnflanke einen Wert unterhalb eines Maximums aufweist. Durch den Materialabtrag wird die Randschicht derart abgetragen, daß Schichtbereiche der Randschicht der Zahnflanke die Oberfläche des Zahnrads ausbilden, welche einen höheren Kohlenstoffgehalt aufweisen als oberflächennahe Bereiche des Zahnfußes. Damit wird die Zahnflankentragfähigkeit des herkömmlichen Einsatzhärtes wieder erreicht. Eine maximale Zahnfußtragfähigkeit wird durch das Schleifen der Zahnflanke nicht beeinflußt.

[0032] Somit liegen nach dem erfindungsgemäß modifizierten Einsatzhärten, welches ein Direkthärten mit Randabkühlung darstellt, und der sich daran anschließenden Hartbearbeitung der Zahnflanke optimierte Randkohlenstoffgehalte vor, die jeweils eine maximale Tragfähigkeit der Zahnflanke und des Zahnfußes bewirken.

[0033] Nach dem vorbeschriebenen modifizierten Einsatzhärteverfahren mit Randabkühlung in der letzten Stufe der Einsatzhärtung werden deutlich höhere Werte der dynamischen Bruchkräfte erreicht als nach konventionellen Einsatzhärteverfahren. Neben einer Anhebung der Dauerfestigkeit wird durch die Randabkühlung auch der Verlauf der Zeitfestigkeit von Zahnrädern zu höheren Schwingspielzahlen verschoben.

[0034] Mit dem modifizierten Direkteinsatzhärteverfahren mit Randabkühlung wird auch die Schwingfestigkeit bei schwellender Biegebeanspruchung und die dynamische Bruchkraft bei schlagartiger Beanspruchung im Vergleich zu Zahnrädern, die nach bekannten Serien-Wärmebehandlungsverfahren gehärtet werden, verbessert.

[0035] Wenngleich das erfindungsgemäße Verfahren insbesondere zur Erhöhung der Zahnfußtragfähigkeit bei verzahnten Bauteilen, insbesondere bei Zahnrädern, geeignet ist, so ist die Erfindung nicht auf diese Anwendung beschränkt. Das vorbeschriebene Härteverfahren mit anschließender Hartbearbeitung ist auch für Wellen für Lenkungen von Nutzkraftwagen sowie für beliebige andere Bauteile, welche einer hohen dynamischen Beanspruchung ausgesetzt sind und eine harte, verschleißfeste Randschicht auf einem ausreichend zähen Kern aufweisen müssen, geeignet.

Bezugszeichen

[0036]

- 1 Verlauf des Kohlenstoffgehalts in einer Randschicht bei einem konventionellen Einsatzhärteverfahren
- 2 Verlauf des Kohlenstoffgehalts in einer Randschicht bei einem modifizierten, erfindungsgemäßen Einsatzhärteverfahren mit Randabkühlung

Patentansprüche

1. Verfahren zum Erhöhen der in Abhängigkeit des Kohlenstoffgehalts stehenden dynamischen Belastbarkeit eines verzahnten Bauteils aus einsatzhärtem Stahl, wobei zunächst der Verlauf (2) des Kohlenstoffgehalts in der Randschicht des Bauteils derart eingestellt wird, daß der Kohlenstoffgehalt, ausgehend von der Oberfläche in Richtung des Kerns, des Bauteils zunächst zunimmt und ab einer bestimmten Schichttiefe kontinuierlich abnimmt, und daß anschließend ein Teil der Randschicht in Bereichen des Bauteils, insbesondere im Bereich der Zahnflanken, abgetragen wird, derart, daß an der Oberfläche des Bauteils der Maximalwert des Kohlenstoffgehalts vorliegt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Verlauf (2) des Kohlenstoffgehalts in der Randschicht des Bauteils mittels Aufkohlen erzeugt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Bauteil während des Aufkohlens von einem gasförmigen Aufkohlungsmittel umgeben und der Kohlenstoffgehalt der Atmosphäre veränderbar ist.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Kohlenstoffgehalt der Atmosphäre gegen Ende des Aufkohlens, beispielsweise während einer sich an eine Abkühlphase anschließenden Haltephase auf Härtetemperatur des Bauteils, wesentlich kleiner eingestellt ist als während des Aufkohlens.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, daß** der abzutragende Teil der Randschicht auf der Zahnflanke mittels mechanischer Bearbeitung abgetragen wird.

Claims

1. Method for increasing the carbon-content-based dynamic loadability of a toothed component made

of case-hardenable steel, with the characteristic (2) of the carbon content in the peripheral layer of the component first being set in a manner that the carbon content - starting from the surface and towards the core of the component - initially increases and then from a certain depth of the layer continuously decreases, and that subsequently part of the peripheral layer in areas of the component, especially in the area of the tooth flanks, is removed in such a way that the maximum carbon content is achieved on the surface of the component.

2. Method according to claim 1, **characterized in that** the characteristic (2) of the carbon content in the peripheral layer of the component is produced by means of carburization.
3. Method according to claim 2, **characterized in that** during carburization the component is surrounded by a gaseous carburizing agent and the carbon content of the atmosphere is variable.
4. Method according to claim 3, **characterized in that** the carbon content of the atmosphere towards the end of carburization, for example during a stop phase following a cooling phase to the hardening temperature of the component, is set to a much lower level than during carburization.
5. Method according to one of the claims 1 through 4, **characterized in that** the part of the peripheral layer on the tooth flank to be removed is removed by means of a machining process.

- 5 4. Procédé selon la revendication 3, **caractérisé en ce que**, vers la fin de la carburation, par exemple pendant une phase de maintien à la température de trempe de la pièce, qui fait suite à une phase de refroidissement, la teneur en carbone de l'atmosphère est réglée sur un niveau sensiblement plus bas que pendant la carburation.
- 10 5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** la partie de la couche superficielle qu'il s'agit d'enlever est enlevée sur le flanc des dents par usinage mécanique.

Revendications

1. Procédé pour améliorer la limite de charge dynamique admissible, existant en fonction de la teneur en carbone, d'une pièce dentée en acier de cémentation dans lequel, tout d'abord, le profil de variation (2) de la teneur en carbone dans la couche superficielle de la pièce est établi de manière que la teneur en carbone croisse initialement de la surface vers le cœur de la pièce et décroisse continuellement à partir d'une certaine profondeur de la couche et en ce que, ensuite, une partie de la couche superficielle est enlevée dans des régions de la pièce, en particulier dans la région des flancs de dents, de telle manière que la valeur maximale de la teneur en carbone se trouve à la surface de la pièce.
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le profil de variation (2) de la teneur en carbone dans la couche superficielle de la pièce est produit par carburation.
3. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en**

35

40

45

50

55

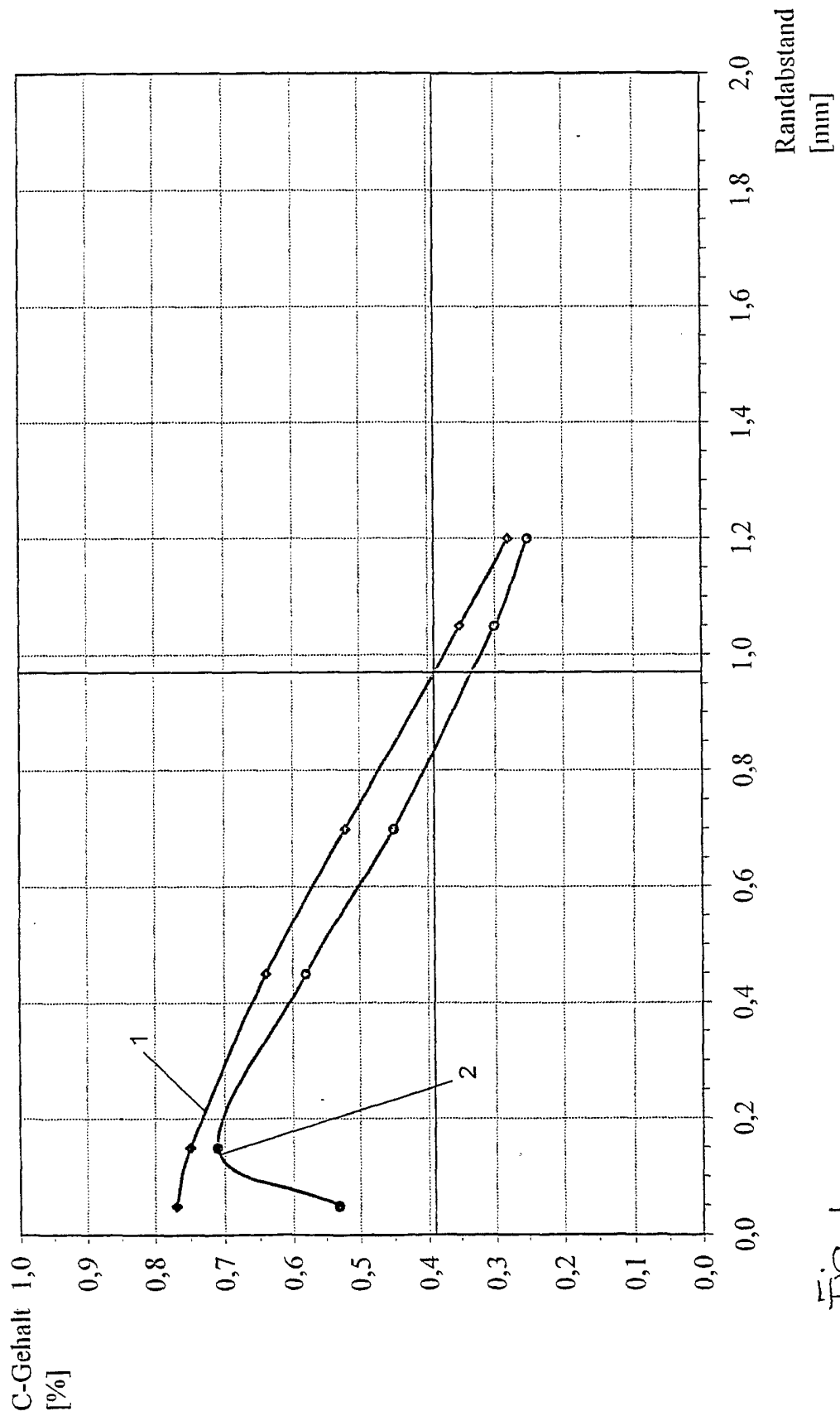


Fig. 1