



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 601 03 489 T2 2005.01.20**

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 226 888 B1**

(51) Int Cl.7: **B21K 1/76**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **601 03 489.9**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 101 581.5**

(96) Europäischer Anmeldetag: **25.01.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **31.07.2002**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **26.05.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **20.01.2005**

(73) Patentinhaber:

**Kabushiki Kaisha Koshingiken, Mishima,
Shizuoka, JP**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB

(74) Vertreter:

**HOEGER, STELLRECHT & PARTNER
Patentanwälte, 70182 Stuttgart**

(72) Erfinder:

Shiokawa, Seiji, Mishima-shi, Shizuoka-ken, JP

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung einer Zahnstange**

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

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

Beschreibung

BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer rohrförmigen Zahnstange aus einem rohrförmigen Rohling, wobei der rohrförmige Rohling in einem Werkzeug gehalten wird, welches auf seiner inneren Oberfläche gezahnte Bereiche entlang der Länge des Werkzeugs aufweist, und wobei ein Dorn mit einer Mehrzahl von Aufweitköpfen in den rohrförmigen Rohling eingeführt wird, was einen radialen Materialfluss zu dem Werkzeug hin bewirkt, wodurch auf der äußeren Oberfläche des rohrförmigen Rohlings Zähne gebildet werden, welche zu der Gestalt der gezahnten Bereiche des Werkzeugs korrespondieren.

[0002] Die japanische Auslegeschrift (Kokoku) Nr. 3-5892 offenbart eine Metallformungstechnik zur Herstellung einer rohrförmigen Zahnstange als eine Komponente in einer Lenkungsrichtung. Gemäß diesem Patent wird bei einem Metallformungsprozess für eine Zahnstange ein Rohrelement, welches thermisch erweicht ist, in einem Werkzeug gehalten und einem Pressvorgang unterworfen, so dass das Rohrelement an einem Ort, wo eine Zahnstange gebildet werden soll, abgeflacht wird. Sodann wird ein Werkzeug mit geraden Zähnen mit dem abgeflachten Teil des Rohrelementes in Kontakt gebracht, während ein Dorn in die zentrale Bohrung des Rohrelementes eingeführt wird. Der Dorn ist mit einem verjüngten Arbeitsbereich versehen, welcher mit einer inneren Oberfläche des abgeflachten Bereichs in Kontakt kommt und in die axiale Bohrung des Rohrelementes hineingedrückt wird, was einen radialen Materialfluss in die Hohlräume des Werkzeugs bewirkt, wodurch auf dem abgeflachten Bereich des Rohrelementes gerade Zähne gebildet werden, welche zu den gezahnten Bereichen des Formgebungswerkzeugs korrespondieren.

[0003] Die in dem japanischen Patent Nr. 3-5892 offenbarte Metallformungstechnik ist insofern unzulänglich, als die Produkte eine verminderte Präzision aufweisen, was es schwierig macht, die Produkte tatsächlich für die Produktion zu nutzen. Ferner ist das Verfahren nach dem Stand der Technik insofern unzulänglich, als seine Produktionskosten hoch sind, was einerseits darauf zurückzuführen ist, dass das Verfahren kompliziert ist, und andererseits darauf, dass die Kosten für die Metallformgebungsvorrichtung hoch sind.

[0004] Ein Verfahren zum Herstellen einer hohlen Zahnstange ist in EP 1 020 243 A2 offenbart. Zunächst wird durch Kaltflachpressen und dergleichen ein flacher Bereich an der Peripherie eines Stahlrohrs gebildet. Nach Bildung des flachen Bereichs wird das Stahlrohr in ein Formgebungswerkzeug platziert,

welches Zahnstangenzähne aufweist, und ein Dorn mit zwei extrudierenden Bereichen wird unter Kraftanwendung in das Stahlrohr eingeführt.

[0005] Im Hinblick auf das oben Gesagte liegt eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung in der Bereitstellung einer Technik zum Metallformen, welche die obengenannten Probleme des Standes der Technik überwinden kann.

[0006] Die vorliegende Erfindung ist hinsichtlich des Verfahrens, wie es im ersten Absatz der vorliegenden Beschreibung beschrieben ist, dadurch gekennzeichnet, dass das Werkzeug teilbar ist und aufgebaut ist aus einem ersten Teil, der die gezahnten Bereiche aufweist, und einem zweiten Teil, der eine gerundete Oberfläche zum Abstützen der gegenüberliegenden Seite des rohrförmigen Rohlings aufweist, dass das Einführen und Herausziehen des Dorns eine vorgegebene Zahl von Malen wiederholt wird und dass die Einführungsrichtung des Dorns alternierend geändert wird.

[0007] In Einklang mit der vorliegenden Erfindung ist der Dorn mit einer Mehrzahl von Arbeitsköpfen versehen und das Einführen des Dorns wird eine vorgegebene Zahl von Malen wiederholt. Eine Folge davon ist, dass der radiale Aufweitvorgang auf einer mehrstufigen Basis durchgeführt wird bei einer einzigen kompletten Einführung des Dorns. Eine Folge davon ist, dass eine erhöhte Präzision der Zahnstange erhalten werden kann, ungeachtet der Tatsache, dass die Zahnstange nach dem Metallformungsprozess geformt wird.

[0008] Bevorzugt wird das Werkzeug während des Metallformungsprozesses geschlossen gehalten, wobei das Werkzeug daran gehindert wird, einem positiven Abkühlungsvorgang unterworfen zu werden, so dass Wärme, wie sie durch den Metallformungsprozess erzeugt wird, aufrechterhalten wird, so dass die Temperatur des Metalls, welche die sogenannte Verformungsentsfestigungserscheinung erzeugen kann, während der Durchführung des Metallformungsprozesses aufrechterhalten wird.

[0009] Aufgrund der Tatsache, dass die Temperatur des Metalls, welche die sogenannte Verformungsentsfestigungserscheinung bereitstellen kann, aufrechterhalten wird, wird eine erhöhte Fließbarkeit des Metalls aufrechterhalten, ungeachtet der Tatsache, dass die Einführung des Dorns in den rohrförmigen Rohling wiederholt wird. Somit kann das Metallformungsverfahren in Einklang mit der vorliegenden Erfindung eine stark erhöhte Präzision der Zahnstange erzielen, die so fein wie 32 µm sein kann.

[0010] Bevorzugt überlappen sich das Einführen des Dorns an einem Ende des rohrförmigen Rohlings und das Herausziehen des Dorns am anderen Ende

des rohrförmigen Rohlings.

[0011] Als eine Folge der alternierend geänderten Richtung des Einführens des Dorns in den rohrförmigen Rohling mit dem Überlappungsbetrieb wird das Auftreten von Materialsegregationen sowie Zeithärten verhindert, wodurch eine erhöhte Präzision der Zähne der erzeugten Zahnstange erhalten wird.

[0012] Bevorzugt ist eine Mehrzahl von Sätzen von vertikal versetzten Dornen unterschiedlicher Arbeitsdurchmesser bereitgestellt und das Einführen der Dorne wird unter vertikalem Versetzen der Dorne durchgeführt.

[0013] Als eine Folge des vertikalen Versetzens des Dornes mit sich allmählich ändernden Arbeitsdurchmessern wird eine mehrstufige Bearbeitung durchgeführt unter allmählicher Veränderung des Arbeitsdurchmessers, wodurch die Präzision der Zahnstange erhöht wird.

[0014] Die Erfindung wird im Folgenden unter Bezugnahme auf die beigefügte zeichnerische Darstellung erläutert; in der Zeichnung zeigen:

[0015] Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Zahnstangenschmiedens durch alternierendes und wiederholtes Einführen von Dornen in einen rohrförmigen Rohling in Einklang mit der vorliegenden Erfindung;

[0016] Fig. 2 einen quer verlaufenden Schnitt einer Werkzeuganordnung, welche in der Vorrichtung von Fig. 1 verwendet wird;

[0017] Fig. 3 einen Längsschnitt der Werkzeuganordnung entlang der Linie III-III von Fig. 2;

[0018] Fig. 4 eine Ansicht von unten eines oberen geteilten Werkzeugs entlang der Linie IV-IV von Fig. 3;

[0019] Fig. 5A eine vergrößerte querschnittliche Darstellung der Werkzeuganordnung, wobei Letztere sich in einem geöffneten Zustand befindet;

[0020] Fig. 5B eine vergrößerte querschnittliche Darstellung der Werkzeuganordnung, wobei Letztere sich in einem geschlossenen Zustand zum Abflachen des rohrförmigen Rohlings befindet;

[0021] Fig. 5C eine vergrößerte querschnittliche Darstellung der Werkzeuganordnung, wobei ein Dorn in einen durch die Werkzeuganordnung gehaltenen rohrförmigen Rohling eingeführt ist;

[0022] Fig. 6 einen Graphen, der die Beziehung zwischen Scherverformung und Scherung zeigt;

[0023] Fig. 7 einen Graphen, der die Beziehung zwischen Temperatur und Formänderungswiderstand eines Kohlenstoffstahls zeigt;

[0024] Fig. 8A ein Materialfließmuster während eines Zahnstangenschmiedeprozesses durch Einführen eines Dorns in einen rohrförmigen Rohling in Einklang mit der vorliegenden Erfindung;

[0025] Fig. 8B ein Materialfließmuster während eines Zahnstangenschmiedeprozesses durch Einführen eines Dorns in einen rohrförmigen Rohling in Einklang mit einem Verfahren nach dem Stand der Technik.

[0026] Wie in den Fig. 2 und 3 gezeigt, ist eine Werkzeuganordnung **10** aufgebaut aus einem oberen Werkzeug **12** und einem unteren Werkzeug **14**. Fig. 5A zeigt die Werkzeuganordnung **10** in einem geöffneten Zustand, während Fig. 5B die Werkzeuganordnung **10** in einem geschlossenen Zustand darstellt. Das obere Werkzeug **12** weist an seiner inneren Oberfläche einen sich in Längsrichtung erstreckenden Rücksprung auf, an dem gezahnte Bereiche **12-1** mit der Gestalt einer Zahnstange gebildet sind. Das untere Werkzeug **14** ist an seiner dem oberen Werkzeug **12** zugekehrten Oberfläche mit einer sich in Längsrichtung erstreckenden Oberfläche **14-1** ausgebildet, welche im Querschnitt eine halbkreisförmige Gestalt aufweist. Fig. 5A zeigt einen Zustand, in dem ein rohrförmiger Rohling **18** (Werkstück) auf der gerundeten Oberfläche **14-1** des unteren Werkzeugs **14** aufliegt.

[0027] Gemäß den Fig. 1 bis 4 weist die Werkzeuganordnung **12** einen Halter **22** auf. Der Halter ist mit einem rechtwinklig geformten Rücksprung **24** ausgebildet, in dem ein gezahntes Werkzeug **26** angeordnet ist. Oben auf dem Rücksprung **24** des Halters **22** ist eine Metallverkleidung **27** angeordnet. Ein Paar Presspassstücke **28** und **30** sind an den longitudinalen Enden des gezahnten Werkzeugs **26** angeordnet. Wie in Fig. 4 gezeigt, weist der Rücksprung **24** einen gerundeten Bereich **24A** auf, dessen Durchmesser gleich der Breite des Rücksprungs **24** ist. Ferner sind die Presspassstücke **28** und **30** mit einer gerundeten Querschnittsgestalt ausgebildet, welche zu der des Rücksprungs **24A** korrespondiert. Ferner ist mindestens eines der Presspassstücke **28** leicht keilförmig ausgebildet, wodurch das gezahnte Werkzeug **26** in dem rechtwinkligen Rücksprung **24** des Halters **22** gehalten werden kann, wenn die Stücke **28** und **30** mit Presssitz in den Rücksprung **24** gefügt sind. Ein Presssitz der Stücke **28** und **30** bewirkt, dass das gezahnte Werkzeug **26** in Axialrichtung mit dem rechtwinklig geformten Rücksprung **24A** in Eingriff kommt, wodurch das gezahnte Werkzeug **26** fest in dem Halter **22** gehalten wird.

[0028] Ausgehend von einer Offenstellung, wie sie

in Fig. 5A gezeigt ist, werden das obere und das untere Werkzeug **12** und **14** gegeneinander in eine Geschlossenstellung bewegt, wie sie in Fig. 5B dargestellt ist. In dieser geschlossenen Stellung wird der rohrförmige Rohling, mit seinem oberen Teil **18-1** dem oberen Werkzeug **12** zugekehrt, in eine unregelmäßige Querschnittsform abgeflacht. Das abgeflachte Rohr **18** wird sodann einem Metallformungsprozess unterworfen, um eine Zahnstange zu erhalten.

[0029] Bei der erfindungsgemäßen Ausführungsform, wie unter Bezugnahme auf die Fig. 1 bis 5 erläutert, wird das Abflachen der oberen Oberfläche des rohrförmigen Rohlings **18**, auf der die Zahnstangen-zähne gebildet werden sollen, erhalten, wenn das obere und das untere Werkzeug **12** und **14** zusammengeführt werden, d.h. wenn die Werkzeuganordnung **10** geschlossen wird. Im Einzelnen ist nach dem Schließen der Werkzeuganordnung **10** der gezahnte Bereich **12-1** des oberen Werkzeugs **12** in einer Entfernung von der unteren Oberfläche des Rücksprungs des unteren Werkzeugs **14** angeordnet, die größer ist als der halbe Durchmesser des rohrförmigen Rohlings **18**. Eine Folge davon ist, dass der rohrförmige Rohling **18** in seinem oberen Bereich **18-1** infolge des Kontaktes des gezahnten Bereichs **12-1** mit dem Rohr **18** kollabiert oder abgeflacht wird, wie in Fig. 5B gezeigt. Eine Folge davon ist, dass ein nachfolgender Metallformungsprozess zum Erhalt einer Zahnstange begonnen werden kann, während der Geschlossenzustand der Werkzeuganordnung **10** beibehalten wird. Anders ausgedrückt: erfindungsgemäß kann eine "nahtlose" oder integrierte Bearbeitung vom Abflachen des Rohres bis zum Formen der Zahnstange realisiert werden.

[0030] Es wird nun erneut auf Fig. 1 Bezug genommen, gemäß welcher das teilweise abgeflachte Rohr **18**, welches zwischen den geteilten Werkzeugelementen **12** und **14** gehalten wird, einem Metallformungsprozess in Einklang mit der vorliegenden Erfindung unterworfen wird. Es wird nun ein Detail der Zahnstangenformung nach dem Metallformungsprinzip erläutert. Gemäß Fig. 1 sitzen an der Werkzeuganordnung **10**, in welcher das teilweise abgeflachte Rohr **18** gehalten wird, ein Paar von Dornen **20A** und **20B**, wobei die Dorne einander in Axialrichtung gegenüberliegen. Jeder der Dorne **20A** und **20B** weist eine Gestalt auf, die – in einem quer verlaufenden Schnitt – zu der des teilweise abgeflachten rohrförmigen Rohlings **18** korrespondiert, wie in Fig. 5C gezeigt. Wie in Fig. 1 gezeigt ist der Dorn **20A** (**20B**) an seinem vorderen Ende mit einem Führungsbereich **20-1** versehen, der ein glattes Einführen des Dorns in das Rohr **18** unterstützt. Benachbart zu dem Führungsbereich **20-1** weist der Dorn **20A** (**20B**) einen verjüngten Bereich (Aufweitkopf) **20-2** auf, an den sich ein erster radial vergrößerter Bereich anschließt. Nach der Penetration des Dorns **20A** (**20B**) in das Rohr **18** kommt der verjüngte Bereich **20-2** mit dem

abgeflachten Bereich **18-1** des Rohres **18** in Kontakt. Eine Folge davon ist, dass eine plastische Verformung auftritt, so dass das Metall in die Rücksprünge zwischen den gezahnten Bereichen **12-1** des gezahnten Werkzeugs **26** fließt. Eine Folge davon ist, dass Zähne, welche zu den gezahnten Bereichen **12-1** an dem Werkzeug **26** korrespondieren, an dem abgeflachten Bereich **18-1** des rohrförmigen Rohlings **18** erzeugt werden. In Einklang mit der vorliegenden Erfindung ist der Dorn **20A** (**20B**) an einem Ort stromabwärts des ersten radial vergrößerten Bereichs **20-3** mit einem verjüngten Bereich **20-4** ausgebildet, an den sich ein zweiter radial vergrößerter Bereich **20-5** anschließt. Eine Folge davon ist, dass mit einer einzigen Penetration des Dorns **20A** (**20B**) sequentielle, zwei- oder mehrstufige Metallflüsse erhalten werden.

[0031] In Fig. 1 ist der Dorn **20A** auf der linken Seite in einem Zustand gezeigt, in dem dessen erstmalige Penetration in den rohrförmigen Rohling **18** gerade eingeleitet worden ist. Die Penetration des Dorns **20A** wird fortgesetzt, bis ein Zustand erhalten wird, in dem der zweite radial vergrößerte Bereich **20-5** das Ende des abgeflachten Bereich **18-1** des rohrförmigen Rohlings **18** auf der rechten Seite passiert. Sodann führt der Dorn **20A** eine Rücklaufbewegung durch, bis ein Zustand erreicht ist, in dem der Dorn **20A** vollständig aus dem Rohr **18** herausgezogen ist.

[0032] Gemäß Fig. 1 kann mit dem Einführen des rechten Dorns **20B** in den rohrförmigen Rohling **18** begonnen werden, bevor die Rücklaufbewegung (Herausziehen) des linken Dorns **20A** aus dem Rohr **18** abgeschlossen ist. Die Bewegung des rechten Dorns **20B** wird fortgesetzt, bis letzterer das linke Ende des abgeflachten Bereichs **18-1** des rohrförmigen Rohlings **18** passiert. Auf ähnliche Weise wie unter Bezugnahme auf den linken Dorn **20A** beschrieben verursacht die Einführbewegung des Dorns **20B** einen Metallfluss, welcher durch die radial vergrößerten Bereiche desselben erhalten wird. Sodann führt der rechte Dorn **20B** seine Rücklaufbewegung durch, in Fig. 1 nach rechts. Vor Beendigung der Rücklaufbewegung des rechten Dorns **20B** setzt die Einführbewegung des linken Dorns **20A** ein.

[0033] Bei dem obenerwähnten Betrieb der Dorne **20A** und **20B** beginnt die Einführbewegung eines der Dorne **20A** und **20B**, bevor die Rücklaufbewegung des jeweils anderen Dorns abgeschlossen ist. In anderen Worten: es gibt eine "Überlappung" zwischen der Einführbewegung eines der Dorne **20A** und **20B** und der Rücklaufbewegung des jeweils anderen Dorns. Die wechselweisen Einführbewegungen der Dorne **20A** und **20B**, wobei die obenerwähnte "Überlappung" bewirkt wird, werden eine vorgegebene Anzahl von Malen wiederholt.

[0034] Die Penetration der Dorne **20A** und **20B** in

den rohrförmigen Rohling **18** bewirkt, dass das Metall in Hohlräume zwischen den gezahnten Bereichen **12-1** fließt, wodurch an dem rohrförmigen Rohling **18** Zähne gebildet werden, welche komplementär zu den gezahnten Bereichen **12-1** an dem Werkzeug **26** sind. Ein derartiger Metallformungs- oder -schmiedeprozess bewirkt, dass die Wärme gespeichert wird, wodurch die Temperatur des Materials erhöht wird. Wie dem Fachmann auf dem Gebiet allgemein bekannt, bewirkt eine Bearbeitung des Metalls ein Härten des Materials, d.h. es kommt zum Auftreten eines sogenannten Härtungsphänomens. Im Gegensatz dazu wird in Einklang mit der vorliegenden Erfindung ein Verformungsentfestigungsphänomen, welches in einem Temperaturbereich von 200°C auftritt, für die vorliegende Erfindung genutzt. Im Einzelnen sind in **Fig. 6** auf der Abszisse eine Scherspannung und auf der Ordinate eine Scherverformung aufgetragen. Eine Beziehung zwischen der Scherverformung und der Scherspannung unter einer konstanten Temperatur T_1 ist durch eine Linie L1 angegeben. Wie durch die Linie L1 gezeigt, bewirkt eine Erhöhung der Scherverformung anfänglich einen linearen Anstieg der Scherspannung. Der Spannungsanstieg wird bei einem Spannungswert von τ_1 (sogenannte kritische Scherspannung) verlangsamt infolge des Auftretens eines Quergleitens. In einem Bereich um die kritische Scherspannung herum bewirkt ein Anstieg der Temperatur von T_1 nach T_2 einen Spannungsabfall.

[0035] Schließlich steigt die Scherspannung entlang der Kurve L2, welche eine Spannungs-Verformungs-Beziehung bei der Temperatur T_2 darstellt. Ein derartiges Phänomen, bei dem die Spannung mit zunehmender Verformung abnimmt, wird als Verformungsentfestigung bezeichnet. Gemäß **Fig. 7** ist – bezogen auf einen Zustand mit einer Verformungsrate in einem Bereich von 10 bis 100/s – in der Abszisse die Temperatur abgetragen, während in der Ordinate der Formänderungswiderstand eines Kohlenstoffstahls abgetragen ist. In einem Bereich R, mit Temperaturen um 200°C, welcher zu dem Temperaturbereich der Verformungsentfestigung korrespondiert, wird eine lokale Verminderung des Formänderungswiderstandes erhalten. In Einklang mit der vorliegenden Erfindung wird die Temperatur des Materials in dem Bereich R, wie sie allein während der Durchführung des Metallformungsprozesses erzeugt wird, aufrechterhalten. Eine Folge davon ist, dass die Fließbarkeit des Materials erhöht wird. Eine Folge davon ist, dass ungeachtet der Herstellung der Zahnstange nach dem Schmiedeprozess eine erhöhte Präzision erhalten wird, mit einer Feinheit im μm -Bereich. In der vorliegenden Beschreibung wird ein derartiger Metallformungsprozess in dem Bereich um den Verformungsentfestigungspunkt bei einer Temperatur von ca. 200°C, welche allein durch die Durchführung des Metallformungsprozesses gebildet wird, ohne dass Wärme von außen zugeführt wird, als halbwarmer Bearbeitungsprozess bezeichnet. Der exakte Be-

reich der Temperaturwerte, welche geeignet sind zur Durchführung eines derartigen quasiwarmen Bearbeitungsprozesses, ist selbstverständlich abhängig von der Art des Materials. Für ein typisches Stahlmaterial für die Herstellung einer Zahnstange liegt die Temperatur jedoch um 200°C. Zur Aufrechterhaltung einer Bedingung für den quasiwarmen Bearbeitungsprozess ist eine externe Heizvorrichtung unnötig. Eine Maßnahme ist jedoch unbedingt erforderlich, um zu verhindern, dass die Werkzeuganordnung sowie der Dorn übermäßig abkühlen. Im Einzelnen wird – was die Werkzeuganordnung anbelangt – ein Ausschleusen einer Kühlflüssigkeit (Schmierflüssigkeit) während der Durchführung des Metallformungsprozesses verhindert. Andererseits wird – was den Dorn betrifft – eine Zuführung der Schmierflüssigkeit nur in dem Wartevorgang nach dem Zurückziehen aus der Werkzeuganordnung vorgenommen. Als eine Folge einer derartigen begrenzten Schmierung oder Kühlung wird das Material bei dem quasiwarmen Bearbeitungsprozess bei der Temperatur gehalten.

[0036] Ferner werden in Einklang mit der vorliegenden Erfindung die Dorne **20A** und **20B** dem Überlappungsbetrieb unterworfen. Anders ausgedrückt: nach Beginn der Rücklaufbewegung eines der Dorne **20A** und **20B**, aber noch vor Beendigung dieser Rücklaufbewegung wird die Bewegung des anderen Dorns zum Herbeiführen eines Einführungsvorgangs gestartet. Ein derartiger Überlappungsbetrieb ist einerseits unter dem Aspekt der Aufrechterhaltung der halbwarmen Bearbeitungsbedingungen wichtig. Im Einzelnen ergibt sich ein übermäßiger Temperaturabfall, wenn mit der Einführung eines Dorns in einer Richtung gewartet wird, bis das Herausziehen eines zuvor eingeführten Dorns in der Gegenrichtung abgeschlossen ist. Der Überlappungsbetrieb in Einklang mit der vorliegenden Erfindung ist ferner unter dem Aspekt wichtig, dass eine zeitliche Verkürzung erhalten wird, um die Ausbildung eines Aushärtungsphänomens zu verhindern. Im Einzelnen bewirkt die Durchführung eines Metallformungsprozesses, dass das Material üblicherweise einem Aushärtungseffekt unterworfen wird. Ein derartiges Aushärten setzt üblicherweise innerhalb einer Zeitspanne von nur oder 2 Minuten ein. Bei der üblichen Konstruktion eines Kraftlenkungsmechanismus für ein Automobil ist die Länge der Zahnstange in einem Bereich von 600 bis 800 mm angesiedelt. Um eine derartige Zahnstange zu erzeugen, wird ein Dorn mit einer Länge von 1,000 mm benötigt. Bei einer solchen Dornlänge kann ein Aushärtungsphänomen unvermeidlich auftreten, solange die Einführung des zweiten Dorns erst beginnt, nachdem das Herausziehen des ersten Dorns abgeschlossen worden ist. Der obenerwähnte Überlappungsbetrieb der Dorne **20A** und **20B** kann das Aushärtungsphänomen, welches innerhalb einer Zeitspanne von Minuten auftreten kann, wirksam beherrschen. In Einklang mit der vorliegenden Erfindung wird der Dornüberlappungsbetrieb mit der quasiwar-

men Bearbeitung kombiniert. Eine Folge davon ist, dass eine erhöhte Fließbarkeit des Metalls während der Durchführung des Metallformungsprozesses durch die Einführung der Dorne **20A** und **20B** in den rohrförmigen Rohling **18** erhalten wird. Eine derartige erhöhte Fließbarkeit des Materials wird in Einklang mit der vorliegenden Erfindung kombiniert mit der wiederholten und alternierenden Einführung der Dorne **20A** und **20B** in entgegengesetzten Richtungen. Eine Folge davon ist eine erhöhte Präzision des Produktes (Zahnstange) mit einer Feinheit in der Größenordnung von 32 μm , ungeachtet der Tatsache, dass die erfindungsgemäße Zahnstange im Wesentlichen ein Schmiedeerzeugnis darstellt.

[0037] Neben den Vorteilen des im Vorstehenden definierten halbwarmen Bearbeitungsprozesses sowie einer Eindämmung des Aushärtungsphänomens kann die alternierende Einführung des linken und rechten Dorns **20A** und **20B** vorteilhaft eine Segregation in dem zum Fließen gebrachten Material korrigieren. Anders ausgedrückt: durch die wechselweise Einführung des linken und rechten Dorns **20A** und **20B** wird ein gleichmäßig verteilter Fluss des Metalls in den rückspringenden Bereichen des gezahnten Werkzeugs **26** erhalten, wodurch Schmiedeerzeugnisse (Zahnstangen) mit erhöhter Präzision erhalten werden. Die Fig. 8A und 8B sind schematische Darstellungen von Materialfließmustern während des Metallformungsprozesses, ausgewertet anhand von Röntgenquerschnittsaufnahmen eines Zahnes einer Zahnstange, wie sie nach dem erfindungsgemäßen Metallformungsprozess erhalten wurde. In Fig. 8A, wo der Dorn einem alternierenden Hin- und Hergang unterworfen wird, wie durch einen Pfeil f_1 angezeigt, wird ein symmetrisches Fließmuster erhalten. In

[0038] Fig. 8B, wo der Dorn einer Einführung in einer einzigen Richtung unterworfen wird, wie durch den Pfeil f_2 angezeigt, ist der Fluss des Materials nicht-symmetrisch, und es wird ein rollender Fluss des Materials erhalten. Bei dem nicht-symmetrischen Fluss des Materials wie in Fig. 8B gezeigt ist mit ungleichmäßigen Restspannungen in der erzeugten Zahnstange zu rechnen, was zu einem von Ort zu Ort ungleichmäßigen Wert des Rückfederungsbetrags führt, was dazu führen kann, dass sowohl die Präzision wie auch die Festigkeit der Zähne gemindert ist.

[0039] Es wird nun erneut auf Fig. 1 Bezug genommen, anhand derer nun ein vertikaler Versetzungsvorgang der Dorne **20A** und **20B** beschrieben wird. Auf der linken Seite der Werkzeuganordnung **10** ist ein Satz von vertikal beabstandeten Dornen vorgesehen, wenngleich in Fig. 1 der Einfachheit halber nur zwei Dorne **20A** und **20A'** gezeigt sind. In ähnlicher Weise ist auf der rechten Seite der Werkzeuganordnung **10** ein Satz von vertikal beabstandeten Dornen **20B** und **20B'** vorgesehen. Eine derartige Anordnung von vertikal beabstandeten Dornen dient einem pro-

gressiv ansteigenden Bearbeitungsgrad. Anders ausgedrückt: entlang der Versetzungsrichtung, d.h. der vertikalen Richtung, sind die Arbeitsdurchmesser der Dorne progressiv variiert (vergrößert). Diese Dorne in Versetzungsrichtung (Vertikalrichtung) sind an entsprechenden, in Fig. 1 nicht gezeigten rechten und linken Ablagen angeordnet, derart, dass eine Bearbeitung durchgeführt wird, während die Dornablagen vertikal versetzt werden. Im Einzelnen wird eine Bearbeitung der ersten Stufe durchgeführt, wobei die Dorne **20A** und **20B** alternierend eingeführt werden. Nach Abschluss der Bearbeitung der ersten Stufe durch die Dorne **20A** und **20B** wird eine Aufwärtsbewegung von Haltern (nicht gezeigt) der jeweiligen linken und rechten Ablage durchgeführt, wie durch Pfeile a gezeigt, derart, dass die Dorne **20A'** und **20B'** für die Bearbeitung der zweiten Stufe zu den rohrförmigen Rohlingen **18** ausgerichtet werden. Sodann wird die Bearbeitung der zweiten Stufe durchgeführt, wobei die Dorne **20A'** und **20B'** alternierend in die rohrförmigen Rohlinge **18** eingeführt werden. In ähnlicher Weise werden die Bearbeitungen späterer Stufen durchgeführt, wobei ähnliche vertikale Versetzungen der Dorne durchgeführt werden. Eine derartige mehrstufige Bearbeitung unter progressiver Veränderung des Arbeitsdurchmessers ist wünschenswert, weil ein tief zurückspringendes Muster mit erhöhter Präzision bei einem rohrförmigen Rohling mit verminderter Wanddicke erhalten werden kann.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer rohrförmigen Zahnstange aus einem rohrförmigen Rohling, wobei der rohrförmige Rohling (**18**) in einem Werkzeug (**10**) gehalten wird, welches auf seiner inneren Oberfläche gezahnte Bereiche entlang der Länge des Werkzeugs aufweist, und wobei ein Dorn mit einer Mehrzahl von Aufweitköpfen in den rohrförmigen Rohling eingeführt wird, was einen radialen Materialfluss gegen das Werkzeug hin bewirkt, wodurch auf der äußeren Oberfläche des rohrförmigen Rohlings (**18**) Zähne gebildet werden, welche zu der Gestalt der gezahnten Bereiche des Werkzeugs korrespondieren, dadurch gekennzeichnet, dass das Werkzeug teilbar ist und aufgebaut ist aus einem ersten Teil (**12**), der die gezahnten Bereiche aufweist, und einem zweiten Teil (**14**), der eine gerundete Oberfläche zum Abstützen der gegenüberliegenden Seite des rohrförmigen Rohlings aufweist, dass das Einführen und Herausziehen des Dorns (**20A**, **20B**) eine vorgegebene Zahl von Malen wiederholt wird und dass die Einführungsrichtung des Dorns alternierend geändert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Werkzeug während des Metallformungsprozesses geschlossen gehalten wird, wobei das Werkzeug daran gehindert wird, einem positiven Abkühlungsvorgang unterworfen zu werden, so dass durch den Metallformungsprozess erzeugte Wärme

aufrechterhalten wird, so dass die Temperatur des Metalls, welche die sogenannte Verformungsentfestigungserscheinung erzeugen kann, während der Durchführung des Metallformungsprozesses aufrechterhalten wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sich das Einführen des Dorns (**20A**, **20B**) an einem Ende des rohrförmigen Rohlings und das Herausziehen des Dorns am anderen Ende des rohrförmigen Rohlings überlappen.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Mehrzahl von vertikal versetzten Dornen unterschiedlicher Arbeitsdurchmesser bereitgestellt sind und dass das Einführen der Dorne durchgeführt wird unter vertikalem und progressivem Versetzen der Dorne.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

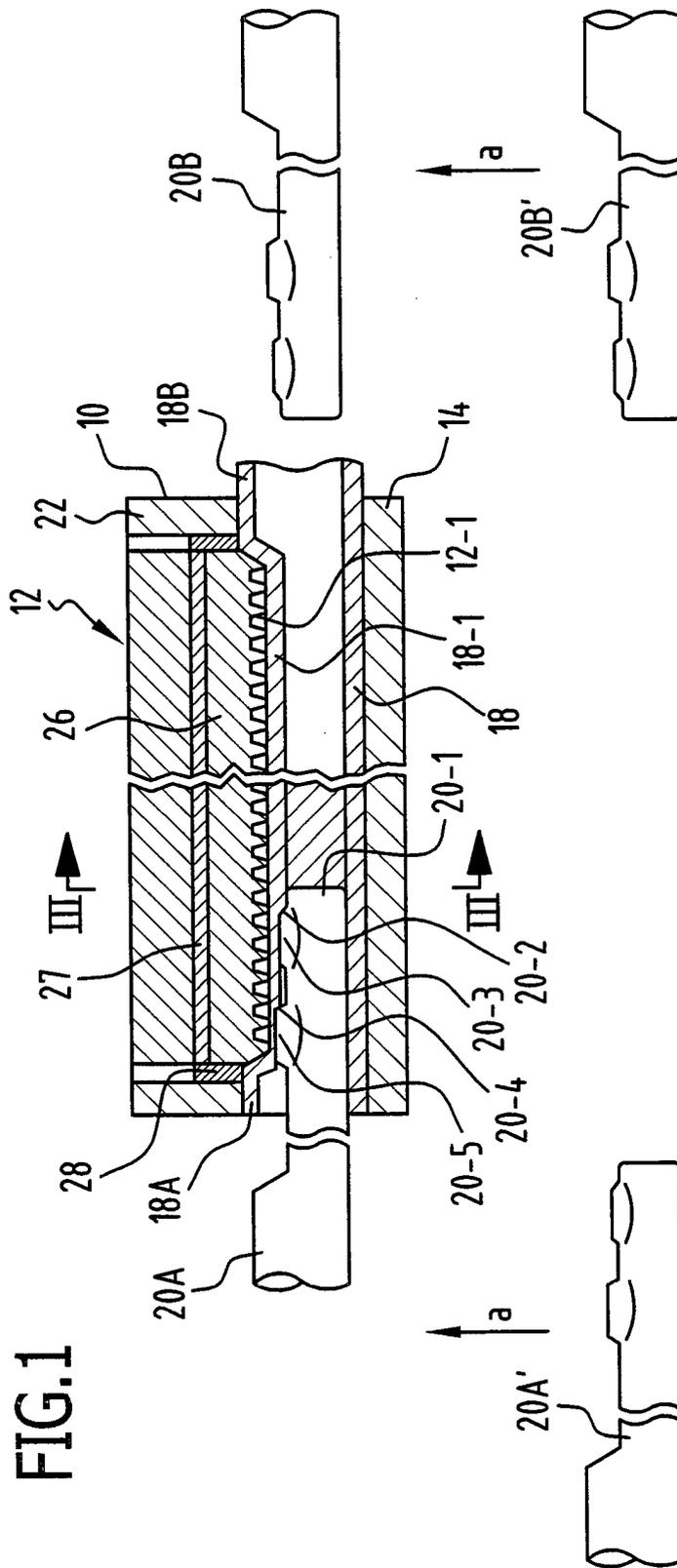


FIG.2

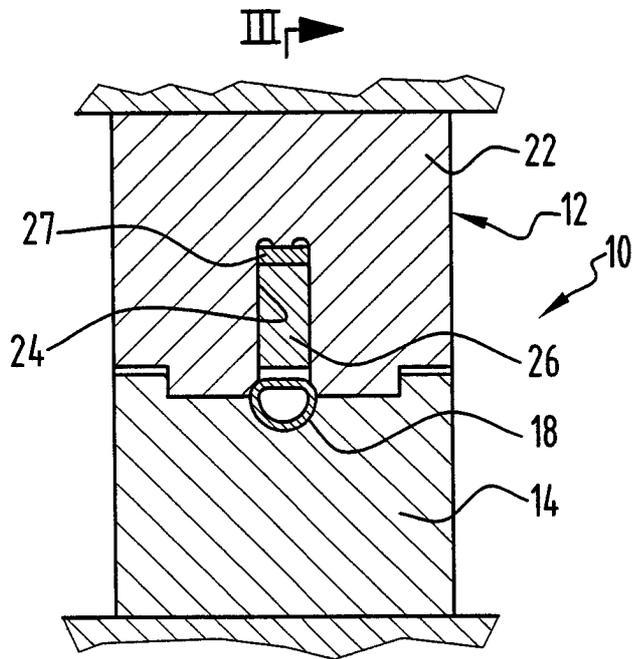


FIG.3

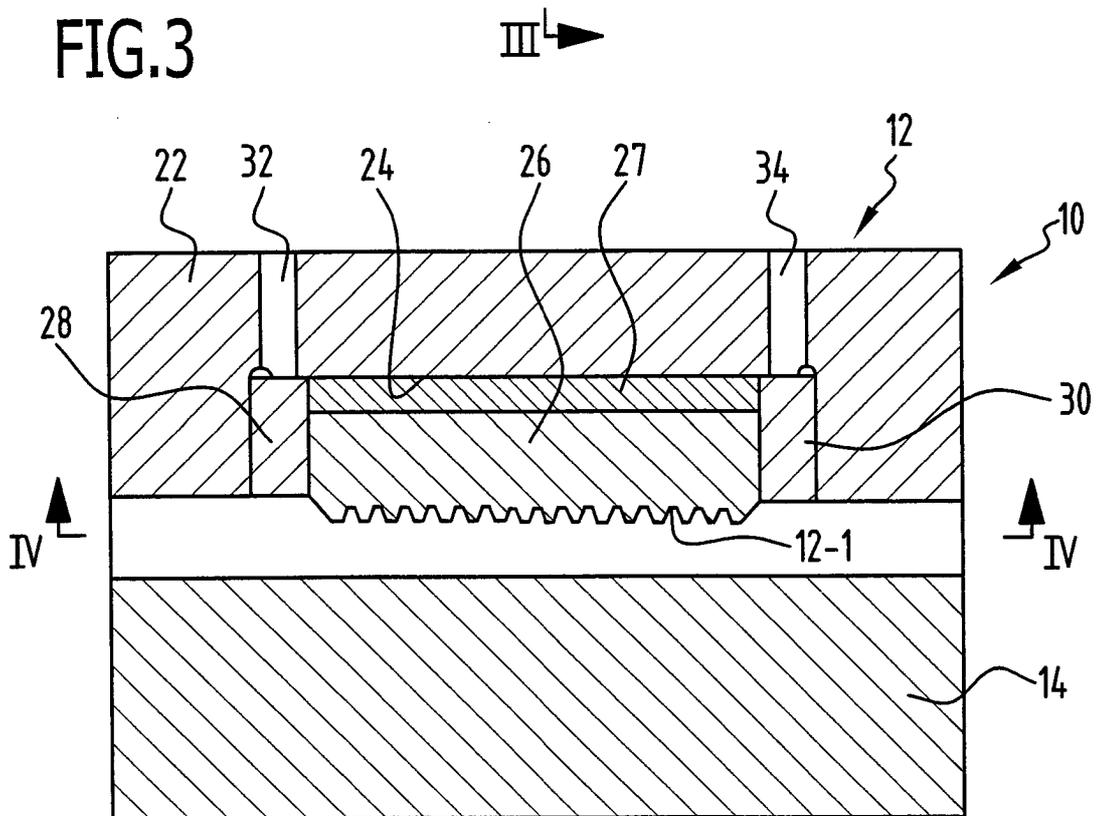


FIG.4

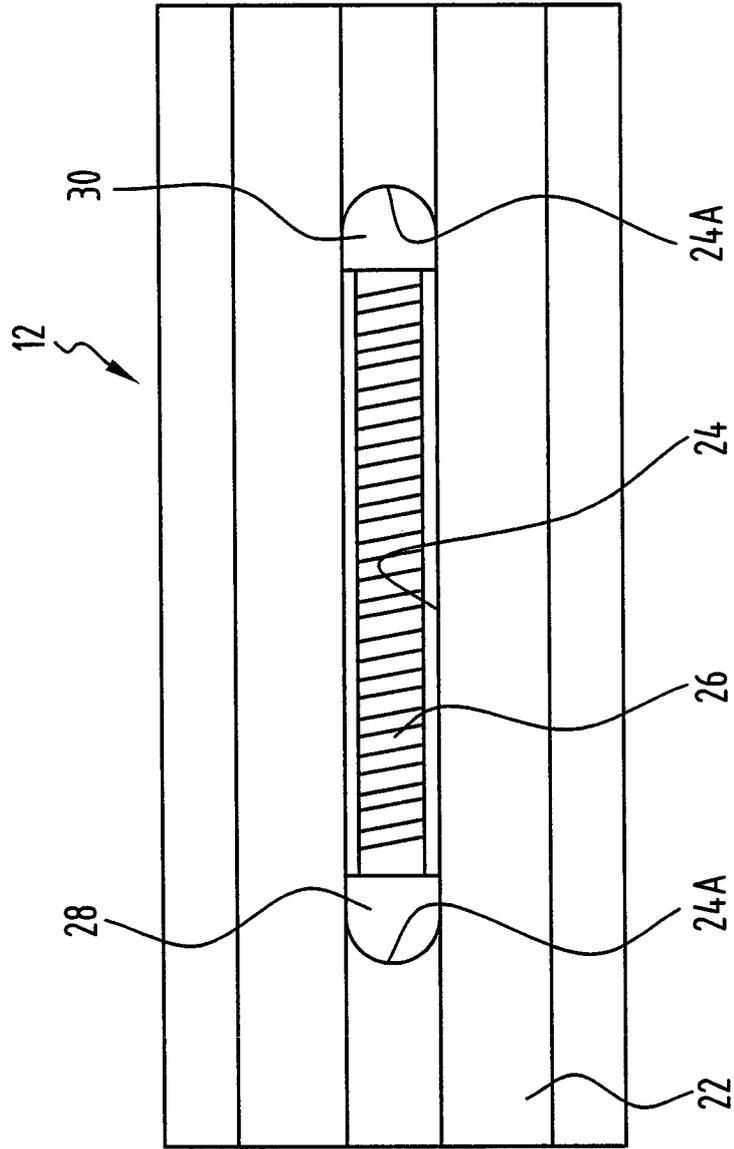


FIG.5A

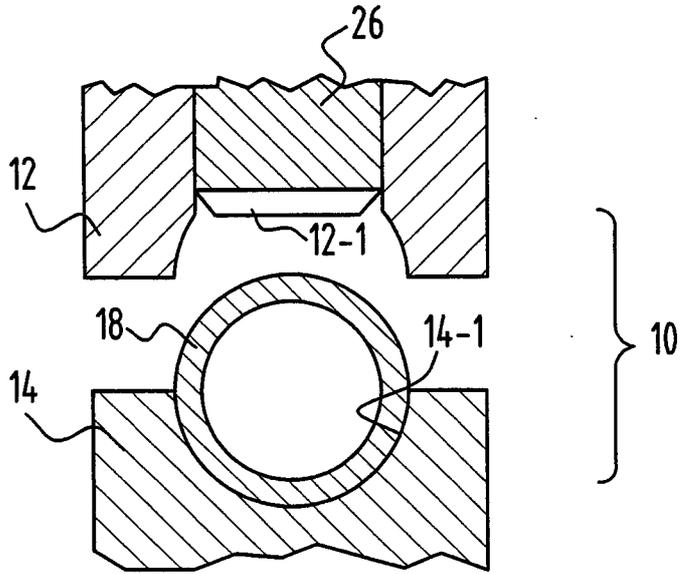


FIG.5B

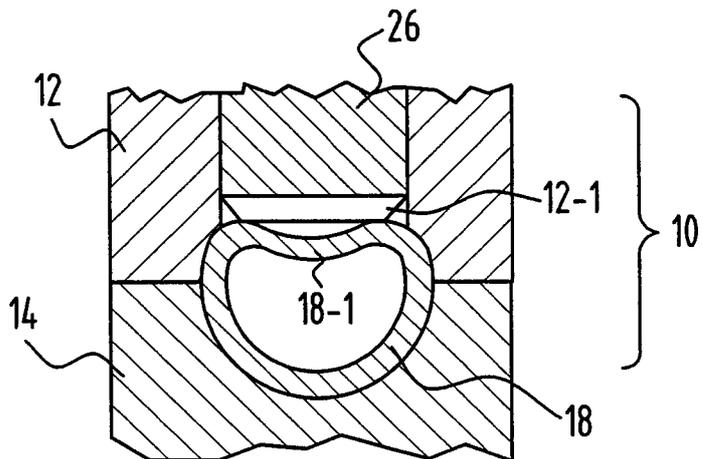


FIG.5C

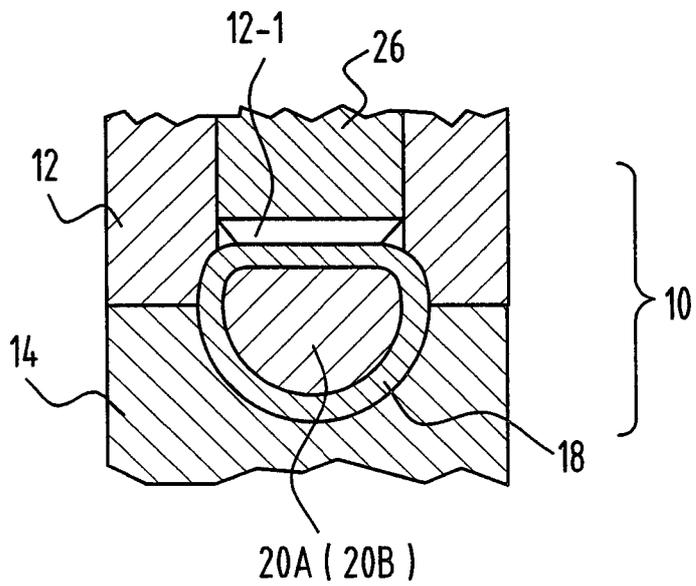


FIG.6

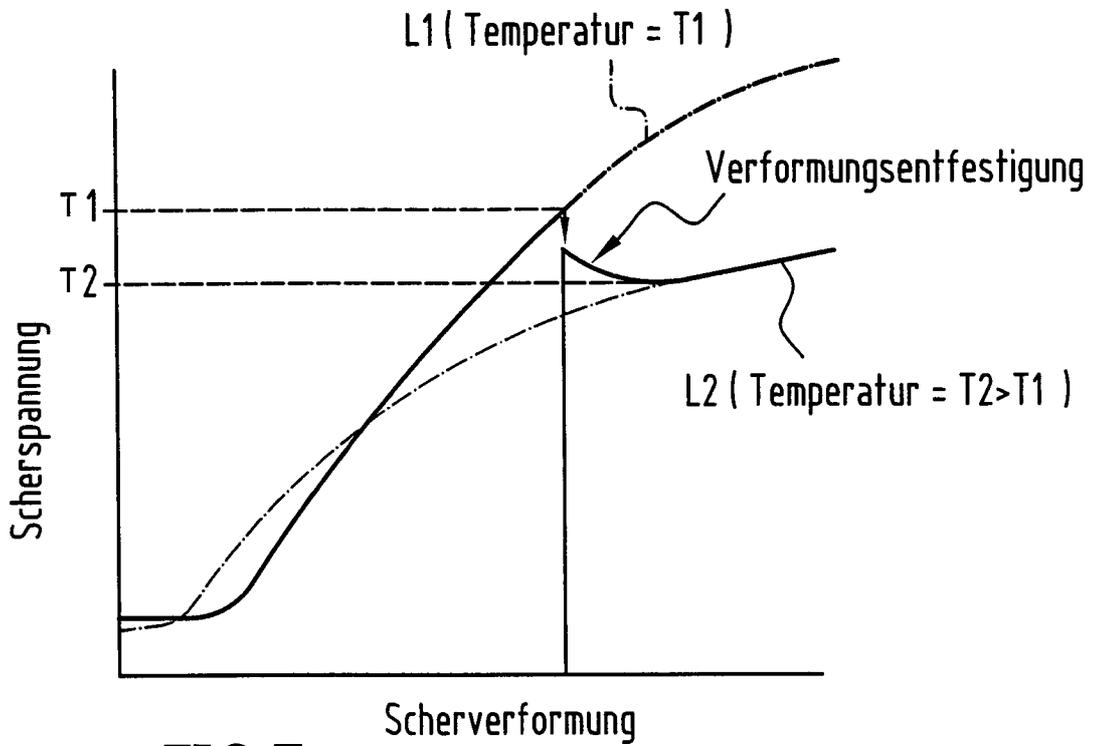


FIG.7

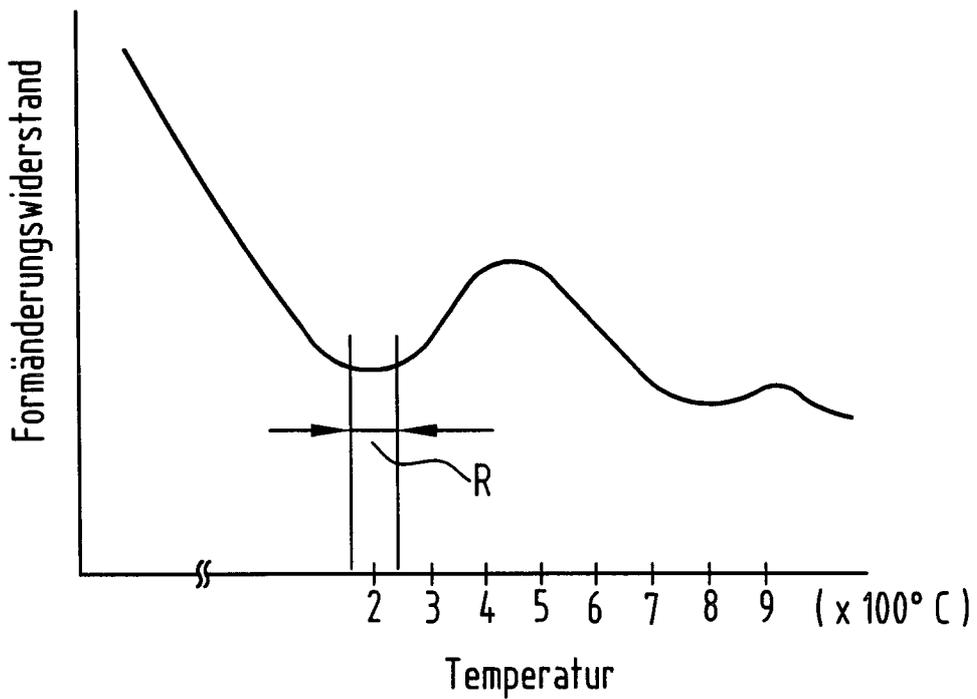


FIG.8A

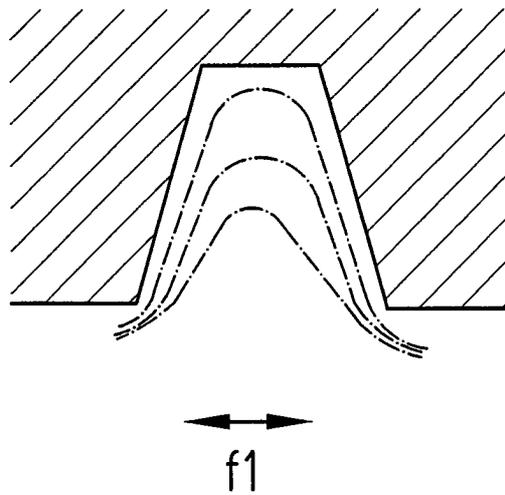


FIG.8B
Stand der Technik

