

(19)



(11)

EP 2 149 411 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
03.02.2010 Patentblatt 2010/05

(51) Int Cl.:
B21J 7/14^(2006.01) B21J 13/02^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **08013624.5**

(22) Anmeldetag: **29.07.2008**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL NO PL PT
RO SE SI SK TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA MK RS

(71) Anmelder: **Magna Powertrain AG & Co. KG
8502 Lannach (AT)**

(72) Erfinder:
• **Rahm, Manfred
8103 Eisbach-Rein (AT)**
• **Jeitler, Bernd
8271 Bad Waltersdorf (AT)**
• **Kraxner, Rene
8481 Weinburg am Sassbach (AT)**

(74) Vertreter: **Manitz, Finsterwald & Partner GbR
Postfach 31 02 20
80102 München (DE)**

(54) **Rundknethammer**

(57) Die Erfindung betrifft einen Rundknethammer (12) mit einer Schlagfläche (13) zum Umformen eines Werkstücks an verschiedenen Kontaktpunkten der Schlagfläche (13), wobei die Schlagfläche (13) in einer Normalebene einer Längsachse des Hammers ein konkaves Krümmungsprofil aufweist, das zwischen einer Scheitellinie (26') der Schlagfläche (13) und beiderseitigen Randbereichen der Schlagfläche (13) variiert. Jeder

Kontaktpunkt der Schlagfläche besitzt einen Krümmungsradius (R), der einen Krümmungskreis mit einem Krümmungsmittelpunkt (M) definiert. Die Krümmungsmittelpunkte (M) der Kontaktpunkte der Schlagfläche (13) liegen in einer Ebene (24), die entlang der Längsachse des Hammers (12) verläuft und die die Scheitellinie (26') der Schlagfläche (13) enthält.

EP 2 149 411 A1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft Rundknetwerkzeuge, insbesondere Rundkneithämmer, zum spanlosen Umformen von Werkstücken mit letztlich rotations-symmetrischem Querschnitt.

[0002] Rundkneten ist ein Druckumformverfahren, welches zur Querschnittsverminderung von Werkstücken - üblicherweise aus Metall - verwendet wird. Beim Rundkneten wird das umzuformende Werkstück durch intermittierende Schläge von Rundkneithämmern bzw. Hammerpaaren umgeformt. Mit anderen Worten werden durch zwei oder mehr am Umfang des Werkstücks angeordnete Hämmer radiale Umformkräfte auf das Werkstück aufgebracht. Das Werkstück wird dabei von der konkaven Schlagfläche des Rundkneithammers bzw. der Rundkneithämmer beaufschlagt. Durch geeignete Wahl der Schlagfläche kann die Querschnittsreduktion durch die Umformvarianten Einschnüren oder Einstechen (siehe auch Fig. 1a bzw. 1b) herbeigeführt werden.

[0003] Bekannte Rundkneithämmer weisen konkave zylindrische und gegebenenfalls zusätzlich im Einlaufbereich des Werkstücks kegelförmige Schlagflächen auf. Der Querschnitt der Schlagflächen (Krümmungsprofil) ist also in einer Ebene senkrecht zu ihrer Längsachse im Wesentlichen ein Kreissegment.

[0004] Dadurch schmiegt sich ein derartiger Hammer im Ausgangszustand des Werkstücks, das heißt am Beginn des Knetvorgangs, gut an das Werkstück an. Bei zunehmender Reduktion des Querschnittsdurchmessers des Werkstücks verschlechtert sich allerdings die Schmiegun g des Hammers an das Werkstück. Eine am Beginn des Knetvorgangs großflächige Kontaktzone zwischen Hammer und Werkstück wird im Verlauf des Knetvorgangs reduziert. Die Randbereiche des Hammers tragen dann nicht mehr zur Beaufschlagung des Werkstücks mit Umformkräften bei. Die Kontaktzone konzentriert sich folglich gegen Ende des Rundknetens auf den zentralen Bereich der Schlagfläche entlang der Längsachse des Rundkneithammers. Der zentrale Bereich der Schlagfläche ist daher besonders beansprucht und weit aus stärker als die Randbereiche dem Verschleiß ausgesetzt. Die ungleichmäßige Abnutzung der Schlagfläche führt zu einer Verringerung der Standzeit des Rundkneithammers.

[0005] Ein weiterer unerwünschter Effekt der zunehmend punktuellen Kontaktzone im Verlauf des Knetvorgangs ist das Auftreten von Schlagkerben an den Werkstücken.

[0006] Außerdem wird durch die Fokussierung der auf das Werkstück wirkenden Umformkräfte der Effekt der Ovalisierung des Werkstücks verstärkt. Unter Ovalisierung versteht man eine nicht erwünschte örtliche Wechselbiegung, die zwischen den Kontaktzonen von beispielsweise zwei orthogonal zueinander angeordneten Hammerpaaren bei jedem Schlag auftritt. Die vier Hämmer der zwei Hammerpaare treffen bei jedem Schlag gleichzeitig auf die jeweilige Kontaktzone auf. Bei jedem

Schlag entsteht somit eine Ovalverformung des Werkstücks in dem jeweiligen Bereich zwischen zwei benachbarten Hämmern. Einerseits wird dadurch aufgewendete Umformarbeit nicht effizient zur Querschnittsreduktion genutzt, andererseits wird das Material des Werkstücks unnötig beansprucht, was zu erhöhter Vorschädigung und damit zu einer Verminderung der Bauteilfestigkeit führen kann. Wird das Werkstück zwischen zwei aufeinander folgenden Schlägen um einen Winkelschritt gedreht, sind im Verlauf der Umformung alle Bereiche der bearbeiteten Werkstückoberfläche von der Ovalisierung betroffen. Bei der Verwendung eines Schmiededorns (Innendorn) bei der Herstellung des Werkstücks leidet dieser ebenfalls durch den Effekt der Ovalisierung.

[0007] Die JP 57-165151 beschreibt einen Rundkneithammer mit einer Schlagfläche, die zwei unterschiedliche Krümmungsradien aufweist. Der zentrale Bereich der Schlagfläche weist einen ersten Krümmungsradius auf, der dem Krümmungsradius eines Rohrs nach dem Umformen entspricht, während die daran anschließenden seitlichen Bereiche der Schlagfläche einen zweiten Krümmungsradius aufweisen, der dem Krümmungsradius des Rohrs vor dem Umformen entspricht. Der zentrale Bereich soll 30 bis 60 % der Schlagfläche umfassen.

[0008] Zwar wird durch diese Ausgestaltung der Schlagfläche eine Schmiegun g am Anfang und am Ende des Knetvorgangs erreicht. Zwischen diesen beiden Zuständen können die vorstehend beschriebenen nachteiligen Effekte allerdings nicht oder nur unzureichend vermieden werden.

[0009] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, verbesserte Rundkneithämmer zu schaffen, die über den Verlauf eines Rundknetprozesses im Mittel eine verbesserte Schmiegun g an das Werkstück aufweisen.

[0010] Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt durch die Merkmale des Anspruchs 1, insbesondere dadurch, dass jeder Kontaktpunkt der Schlagfläche einen Krümmungsradius besitzt, der einen Krümmungskreis mit einem Krümmungskreismittelpunkt definiert, wobei die Krümmungskreismittelpunkte der Kontaktpunkte der Schlagfläche in einer Ebene liegen, die entlang der Längsachse des Hammers verläuft und die die Scheitellinie der Schlagfläche enthält.

[0011] Der erfindungsgemäße Rundkneithammer weist also eine Schlagfläche auf, die in einer Normalebene einer Längsachse des Hammers ein konkaves Krümmungsprofil besitzt, wobei die Schlagfläche von einer konkaven zylindrischen Formgebung oder Kegelform abweicht. Der Querschnitt der Schlagfläche des erfindungsgemäßen Rundkneithammers kann somit nicht durch ein Kreissegment beschrieben werden, das Krümmungsprofil ist nicht kreisrund. Mit anderen Worten weist die Krümmung der Schlagfläche unterschiedliche Krümmungsradien auf und variiert zwischen der Scheitellinie der Schlagfläche und den beiderseitigen Randbereichen der Schlagfläche. Diese Variierung des Krümmungsradius ist zumindest in demjenigen Bereich der Schlagfläche vorgesehen, der im Betrieb des Hammers das zu

bearbeitende Werkstück beaufschlagt, also entlang der bereits genannten Kontaktpunkte.

[0012] Unter einem Kontaktpunkt der Schlagfläche ist der Punkt zu verstehen, an dem die Schlagfläche mit dem Werkstück während eines Schlages in Kontakt tritt. In der Praxis ist dies nicht ein einzelner Punkt im mathematischen Sinn, sondern eine Zone (Bereich), in der sich die Schlagfläche und das Werkstück während eines Schlages des Rundknethammers berühren.

[0013] Der Kontaktpunkt weist einen Krümmungsradius auf, der aufgrund seiner Richtung und seines Betrages einen Krümmungskreis definiert. Der Mittelpunkt des Krümmungskreises liegt in einer Ebene, die entlang der Längsachse des Hammers verläuft und die die Scheitellinie der Schlagfläche enthält. Mit anderen Worten liegen die Mittelpunkte der Krümmungskreise der Kontaktpunkte auch bei einer Verschiebung der Kontaktpunkte während des Umformprozesses stets in der genannten Ebene.

[0014] Das Krümmungsprofil der Schlagfläche ist somit derart ausgestaltet, dass während des gesamten Umformprozesses die jeweils "aktiven" Kontaktpunkte durch Krümmungskreise beschrieben werden können, die einer Randbedingung gehorchen. Diese Randbedingung ist die Lage der Mittelpunkte in der vorstehend definierten Ebene.

[0015] Bei Rundknetprozessen unter Verwendung derartiger Knethämmer ergibt sich eine im Mittel verbesserte Schmiegun g über den gesamten Umformvorgang hinweg, wodurch unter anderem weniger Schlagkerben auftreten. Durch die Variation des Krümmungsradius der Schlagfläche "wandert" der Kontaktpunkt - oder die Kontaktpunkte - des Hammers mit dem Werkstück während des Rundknetens. Insgesamt wird daher die Schmiegun g, das heißt die wirksame Kontaktfläche zwischen Hammer und Werkstück, verbessert. So wird auch der Effekt der erläuterten Ovalisierung reduziert. Außerdem wird durch das "Wandern" der Kontaktzone der Rundknethammer gleichmäßiger belastet und höhere Standzeiten des Umformwerkzeugs werden erzielt, was deutliche Kosteneinsparungen zur Folge hat.

[0016] Durch die erfindungsgemäßen Rundknethämmer können somit qualitativ hochwertigere Werkstücke effizienter hergestellt werden, wobei auch die Produktionskosten durch Verlängerung der Standzeiten der Rundknethämmer und eines eventuell verwendeten Schmiededorns gesenkt werden.

[0017] Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind in den Unteransprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen angegeben.

[0018] Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung gehorcht die Steigung Y' einer Senkrechten auf den jeweiligen Krümmungsradius in den Kontaktpunkten der Relation $Y' = \tan(\arcsin(X/Ra))$, wobei X der auf die Tangentialebene der Scheitellinie projizierte Abstand des betreffenden Kontaktpunkts von der Scheitellinie der Schlagfläche ist, und wobei Ra der Betrag des jeweiligen Krümmungsradius ist. Mit anderen Worten ist die Stei-

gung Y' der jeweiligen Tangente des Krümmungsprofils in den einzelnen Kontaktpunkten jeweils eine Funktion des Abstands X von der Scheitellinie der Schlagfläche. Ein durch die genannte Relation definiertes Krümmungsprofil erfüllt die vorstehend diskutierte Randbedingung und führt zu einer verbesserten Schmiegun g des Rundknethammers am umzuformenden Werkstück während des Umformprozesses.

[0019] Simulationsstudien haben ergeben, dass eine vorteilhaft verbesserte Schmiegun g durch eine Variation des Parameters Ra wiederum als Funktion des Abstands X erreicht wird. Insbesondere eine lineare Abhängigkeit erweist sich als besonders vorteilhaft, um eine räumlich und zeitlich gleichmäßige Beanspruchung der jeweiligen Schlagfläche während des Umformprozesses zu erreichen.

[0020] Ra kann auch eine von einer Bogenlänge S abhängige lineare Funktion sein, wobei S die Länge des Krümmungsprofils zwischen dem betreffenden Kontaktpunkt und der Scheitellinie ist.

[0021] Bevorzugt ist Ra durch die Gleichung $Ra = k \cdot X + R0$ oder $Ra = k \cdot S + R0$ beschreibbar, wobei k eine beliebige Konstante ist und $R0$ dem Betrag des Krümmungsradius der Schlagfläche in der Scheitellinie entspricht. Dieser lineare Zusammenhang zwischen dem Abstand X und dem Betrag des jeweiligen Krümmungsradius stellt eine gleichmäßig fortschreitende Umformung im Verlauf des gesamten Prozesses sicher, was zusätzlich einen Beitrag zur Werkstückqualität liefert und die Standzeiten der Rundknethämmer erhöht. Mit anderen Worten werden die auftretenden Belastungen gleichmäßig auf den gesamten Umformprozess verteilt, so dass "Belastungsspitzen" geringer ausfallen.

[0022] In einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Rundknethammers ist das Krümmungsprofil der Schlagfläche symmetrisch zu einer Symmetrieebene. Diese Symmetrieebene verläuft entlang der Längsachse des Hammers und enthält die genannte Scheitellinie der Schlagfläche.

[0023] Grundsätzlich kann die Schlagfläche aber auch asymmetrisch geformt sein, insbesondere wenn das Werkstück von vier umfänglich verteilt angeordneten Hämmer n gleichzeitig beaufschlagt wird.

[0024] Bevorzugt nimmt der Krümmungsradius ausgehend von der Scheitellinie der Schlagfläche zu den Randbereichen hin zu.

[0025] Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist die Funktion des Krümmungsradius eine stetige Funktion, um das Auftreten von Schlagkerben zuverlässig verhindern zu können.

[0026] Das Krümmungsprofil kann je nach Durchmesser des Werkstücks, der zu erzielenden Querschnittsreduktion und/oder in Abhängigkeit anderer spezieller Anforderungen des Rundknetvorgangs gewählt und angepasst werden.

[0027] Besonders vorteilhaft ist es hierbei, wenn der Kontakt zwischen dem Hammer und dem Werkstück zu Beginn der Knetbearbeitung nicht in einer zentralen Zone

der Schlagfläche, sondern in zwei voneinander getrennt - und gegebenenfalls spiegelbildlich - angeordneten Zonen der Schlagfläche stattfindet. Dies gilt, solange der Radius des gerade in Bearbeitung befindlichen Werkstücks größer ist als der kleinste Hammerschmiegeradius, wie er vorzugsweise an der Scheitellinie der Schlagfläche ausgeführt ist. Durch diese räumlich günstig angeordneten Mehrfachkontakte werden die Ovalisierungseffekte und die damit einhergehende Materialbeanspruchung reduziert.

[0028] Während der Radius des Werkstücks in der bearbeiteten Zone schrittweise auf den kleinsten Hammerschmiegeradius reduziert wird, wandern die beiden getrennt angeordneten Kontaktzonen an der Schlagfläche aufeinander zu, bis sie sich an der Scheitellinie zu einer einzigen Kontaktzone des betreffenden Hammers vereinigen. Dadurch ist die Kontaktzone insbesondere auch in der Endphase der Formgebung großflächig ausgebildet und die Entstehung schädlicher Schlagkerben wird minimiert.

[0029] Die Erfindung betrifft weiterhin eine Rundknetmaschine mit wenigstens zwei Rundkneithämmern gemäß zumindest einer der vorstehend beschriebenen Ausführungsformen.

[0030] Die Erfindung wird im Folgenden rein beispielhaft anhand vorteilhafter Ausführungsformen und unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben. Es zeigen:

- Fig. 1a eine Anordnung von Rundkneithämmern zum Umformen (Einstechen),
- Fig. 1b eine Anordnung von Rundkneithämmern zum Umformen (Einschnüren),
- Fig. 2a eine schematische Ansicht eines Rundkneithammers,
- Fig. 2b und 2c eine schematische Querschnittsansicht eines Rundkneithammers (Krümmungsprofil),
- Fig. 3a bis c den Verlauf eines Rundknetprozesses mit herkömmlichen Rundkneithämmern,
- Fig. 4a bis c den Verlauf eines Rundknetprozesses mit erfindungsgemäßen Rundkneithämmern, und
- Fig. 5 eine schematische Darstellung der Veränderung der geometrischen Verhältnisse im Laufe des Umformprozesses.

[0031] Fig. 1a illustriert schematisch das Einstechen eines stangenförmigen Werkstücks 10 (z. B. Welle) unter Verwendung von Rundkneithämmern 12, 12'. Die Rund-

kneithämmer 12, 12' (im Folgenden auch lediglich Hämmer genannt) sind jeweils paarweise an gegenüberliegenden Seiten des Werkstücks 10 angeordnet. In dem dargestellten Fall der Fig. 1a handelt es sich um ein erstes Hammerpaar mit den Hämmern 12 und ein zweites Hammerpaar mit den Hämmern 12', wobei auf die Darstellung eines der Hämmer 12' verzichtet wurde, um die Übersichtlichkeit der Abbildung zu verbessern. Grundsätzlich kann aber auch eine Vielzahl von Hammerpaaren vorgesehen sein.

[0032] Um den Querschnitt des Werkstücks 10 zu reduzieren, üben die entlang von Hammerbewegungsrichtungen 20 bewegten Hämmer 12, 12' eines Hammerpaares bei einem Schlag durch ihre konkaven Schlagflächen 13 gleichzeitig radiale Druckkräfte auf das Werkstück 10 aus. Mit hoher Schlagfrequenz wird dabei das Werkstück 10 gleichzeitig von den oszillierenden Hammerpaaren 12 und 12' bearbeitet, wobei das Werkstück 10 während des Abhebens der Hämmer 12, 12' schrittweise gedreht (Rotation 18) und gegebenenfalls auch in Axialrichtung verschoben wird. Dadurch können rotationssymmetrische Werkstücke erzeugt werden.

[0033] Bei dem in Fig. 1a dargestellten Beispiel des sogenannten Einstechverfahrens wird eine örtliche Querschnittsverminderung, beispielsweise zur Erzeugung steiler Übergangswinkel 14 zwischen dem Ausgangsquerschnitt des Werkstücks 10 und dem eingestochenen Querschnitt, erzeugt.

[0034] In Fig. 1b ist analog zu Fig. 1a das Einschnüren eines Werkstücks schematisch dargestellt. Die Schlagflächen 13 der bei dem Einschnürverfahren verwendeten Rundkneithämmer 12, 12' weisen neben zylindrisch ausgeformten Schlagflächenabschnitten auch einen konischen Schlagflächenabschnitt 15 auf, der also einem Kegelsegment entspricht. Dadurch werden vergleichsweise flache Übergangswinkel 14 erzeugt. Durch einen Vor Schub 16 des Werkstücks 10 können auch längere Abschnitte mit reduziertem Querschnitt bei flachen Übergangswinkeln 14 erzeugt werden. Auch bei diesem Verfahren ist eine Rotation 18 des Werkstücks 10 um seine eigene Achse vorgesehen, während die Hammerpaare 12, 12' das Werkstück 10 inkrementell umformen.

[0035] Fig. 2a zeigt eine schematische Ansicht eines Rundkneithammers 12. Wie vorstehend beschrieben, weist der Hammer 12 eine Schlagfläche 13 auf, die der Bearbeitung des Werkstücks 10 dient. Weiterhin umfasst der Hammer 12 eine Hammerstirnseite 22, die auch dem Querschnitt des Hammers 12 senkrecht zu seiner Längsachse entspricht. Der Hammer 12 ist symmetrisch zu einer Mittensymmetrieebene 24, die entlang der Längsachse des Hammers 12 verläuft und senkrecht zu der Hammerstirnseite 22 angeordnet ist. Die Mittensymmetrieebene 24 enthält auch die Scheitellinie 26 der Schlagfläche 13. Beiderseits der Schlagfläche 13 befinden sich Schrägflächen 27. Durch die Abschrägung können die während eines Schlags nicht von den Schlagflächen 13 der Hämmer 12, 12' beaufschlagten Bereiche der Werkstückoberfläche minimiert werden.

[0036] Fig. 2b zeigt einen Querschnitt durch den Hammer 12 in einer Ebene parallel zu der Hammerstirnseite 22. Die Schlagfläche 13 weist ein konkaves Krümmungsprofil 28, 28' auf. Das Krümmungsprofil 28 herkömmlicher Hämmer 12 ist ein Kreissegment. Mit anderen Worten ist der Krümmungsradius aller Abschnitte des Krümmungsprofils 28 der Schlagfläche 13 im Wesentlichen gleich.

[0037] Demgegenüber weist das Krümmungsprofil 28' (gestrichelte Linie) eines erfindungsgemäßen Hammers 12 einen variablen Krümmungsradius auf, der zwischen der Scheitellinie 26' des erfindungsgemäßen Hammers 12 und den beiderseitigen an die Schrägflächen 27 angrenzenden Randbereichen 30 der Schlagfläche 13 variiert. Das Profil 28' ist also nicht kreisrund.

[0038] In der dargestellten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Hammers 12 mit dem Krümmungsprofil 28' ist dieses symmetrisch zu der Mittensymmetrieebene 24 ausgebildet. Die Krümmung nimmt ausgehend von der Scheitellinie 26' der Schlagfläche 13 zu den Randbereichen 30 hin ab (das heißt der Krümmungsradius nimmt zu).

[0039] Das Krümmungsprofil 28' ist auch frei von Sprüngen, Kanten oder ähnlichen Unstetigkeiten parallel zu der Scheitellinie 26', um eine gleichmäßig bearbeitete Oberfläche des Werkstücks 10 zu erhalten.

[0040] Fig. 2c illustriert die geometrischen Verhältnisse des Krümmungsprofils 28' eines erfindungsgemäßen Rundknethammers 12. Der Krümmungsradius R eines Punktes P auf der Schlagfläche 13 hängt von einem Abstand X ab. Der Abstand X ist die auf eine Tangentialebene 32 an der Scheitellinie 26' des Krümmungsprofils 28' projizierte Entfernung des betreffenden Punktes P von der Scheitellinie 26'. Die Funktion kann aber auch von der Bogenlänge S des Krümmungsprofils zwischen der Scheitellinie 26' und dem Punkt P des Krümmungsprofils abhängen.

[0041] Das Krümmungsprofil 28' ist bevorzugt so gestaltet, dass der Betrag R_a des Krümmungsradius R linear von X abhängt und durch die Gleichung $R_a(X) = k \cdot X + R_0$ beschrieben werden kann. k ist dabei eine beliebige Konstante, die angibt wie "schnell" der Krümmungsradius variieren soll. Der Parameter R_0 gibt an, wie groß der Krümmungsradius R in der Scheitellinie 26' ist ($X = 0$). In der Regel wird R_0 entsprechend dem gewünschten Radius des Werkstücks 10 am Ende des Umformprozesses gewählt.

[0042] Mit anderen Worten nimmt R_a mit zunehmenden Winkeln α zwischen dem - als Vektor zu betrachtenden - Krümmungsradius R und der Mittensymmetrieebene 24 zu. Jedem Punkt P auf dem Krümmungsprofil 28' ist somit ein eigener Krümmungskreis zugeordnet, dessen Radius den Betrag $R_a(X)$ aufweist ($R_a = |R|$). Der Mittelpunkt M des Krümmungskreises liegt auf der Mittensymmetrieebene 24. Da der Radius R senkrecht auf einer Tangente Y' an dem Krümmungsprofil 28' der Schlagfläche 13 stehen muss, wandert der Mittelpunkt M mit zunehmenden Abstand X von der Scheitellinie 26'

weg, wie nachfolgend noch anhand von Fig. 5 eingehend erläutert wird.

[0043] Die Fig. 3a bis 3c stellen den Verlauf eines Rundknetprozesses eines Werkstücks 10 mit herkömmlichen Hämmern 12 dar. Anhand der Fig. 4a bis 4c wird anschließend die Wirkung eines erfindungsgemäßen Hammers 12 mit einem von einem Kreissegment abweichenden Krümmungsprofil 28' verdeutlicht. Mit Fortschreiten des Umformens des Werkstückes 10 wird dessen Radius vermindert (10', 10"). In dem hier dargestellten Fall handelt es sich um ein rohrförmiges Werkstück 10, 10', 10" (z.B. Hohlwelle), wobei im Inneren des rohrförmigen Werkstücks 10, 10', 10" ein Schmiededorn angeordnet sein kann. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird in den Fig. 3a bis 3c und 4a bis 4c jeweils nur ein Hammer dargestellt und auch ein gegebenenfalls vorhandener Schmiededorn nicht gezeigt.

[0044] Der Hammer 12 weist in den Fig. 3a bis 3c ein kreissegmentförmiges Krümmungsprofil 28 auf. Zu Beginn des Umformens (Fig. 3a) schmiegt sich der Hammer 12 großflächig an die Oberfläche des Werkstücks 10 an. Eine (einzige) Kontaktzone 34, das heißt die Berührungsfläche zwischen dem Hammer 12 und dem Werkzeug 10 während eines Schlages des Hammers 12, umfasst im Wesentlichen die gesamte Schlagfläche 13. Bei Fortschreiten des Prozesses wird die Kontaktzone 34 kontinuierlich kleiner (Fig. 3b), und in den Randbereichen 30 der Schlagfläche 13 berühren sich die Schlagfläche 13 und das Werkstück 10' nicht mehr. Gegen Ende des Umformprozesses wird diese Verringerung der Kontaktzone 34 noch deutlicher, und die Kontaktzone 34 umfasst nur noch einen geringen Teil der Schlagfläche 13 im Bereich um die Scheitellinie 26.

[0045] Es ist deutlich zu ersehen, dass der Bereich um die Scheitellinie 26 stets belastet wird und daher besonders beansprucht ist. Durch die sehr kleine Kontaktzone 34 in Fig. 3c können außerdem Schlagkerben und damit Schädigungen am Werkstück 10" entstehen. In einem solchen Stadium, wie in Fig. 3c dargestellt, tritt auch der Effekt der Ovalisierung besonders stark auf. Mit anderen Worten reagiert das Werkstück 10" auf eine Hammerbewegung 20 durch eine Verformung außerhalb der Kontaktzone 34 des jeweiligen Hammers 12, 12'. Diese Verformungsrichtung ist durch die Pfeile V symbolisiert. Bei anschließenden Schlägen der Hammerpaare 12, 12' erfährt das Werkstück 10" diese Ovalisierung jeweils an einer um einen Winkelschritt weiter gedrehten Position. In den seitlichen Bereichen bzw. Spalten außerhalb der jeweiligen Kontaktzone 34 der Hammerpaare 12, 12', insbesondere zwischen benachbarten Hämmern 12, 12', wird das Werkstück 10' einer schädigenden Wechselbiegung (Ovalisierung) ausgesetzt.

[0046] Bei Verwendung eines erfindungsgemäßen Rundknethammers 12 mit einem Krümmungsprofil 28', welches von einem kreisförmigen Krümmungsprofil 28 abweicht, liegen die in den Fig. 4a bis 4c gezeigten Verhältnisse vor. Analog zu den Fig. 3a bis 3c ist der Verlauf eines Rundknetumformprozesses dargestellt.

[0047] Aufgrund des variierenden Krümmungsprofils 28' ist die Kontaktzone 34 zu Beginn des Prozesses auf die Randbereiche 30 der Schlagfläche 13 beschränkt, d.h. es liegen zwei getrennte Kontaktzonen 34 vor (Fig. 4a). Im weiteren Verlauf des Umformprozesses "wandern" die Kontaktzonen 34 in Richtung der Scheitellinie 26' der Schlagfläche 13 (Fig. 4b). Gegen Ende des Umformens erstreckt sich die Kontaktzone 34 im Wesentlichen im Bereich der Scheitellinie 26' (Fig. 4c). Die Kontaktzone 34 der Fig. 4c umfasst allerdings eine deutlich größere Fläche als die entsprechende Kontaktzone 34 der Fig. 3c. Es treten also geringere punktuelle Kräfte bei einem erfindungsgemäßen Rundknethammer 12 auf als bei herkömmlichen Rundknethämmern 12. Dadurch können Schlagkerben und Schädigungen durch Ovalisieren vermieden werden. Gleichzeitig wird die Standzeit des erfindungsgemäßen Hammers 12 im Vergleich zu herkömmlichen Hämmern 12 verlängert, da die Schlagfläche 13 gleichmäßiger beansprucht wird. Bei der Verwendung eines Schmiededorns wirkt sich die Verwendung eines erfindungsgemäßen Hammers 12 ebenso positiv aus, da ein Überschmieden verhindert wird bzw. die Wandstärke der Ausgangsgeometrie verringert werden kann.

[0048] Bei der Verwendung von Rundknethämmern 12 mit einem erfindungsgemäßen Krümmungsprofil 28' wird also bewusst auf ein vollständiges Anschmiegen der Schlagfläche 13 des Hammers 12 an das Werkstück 10 zu Beginn des Rundknetprozesses verzichtet. Im Verlauf des Rundknetens ergeben sich aber bei dem erfindungsgemäßen Rundknethammer 12 verbesserte Umformbedingungen verglichen mit herkömmlichen Hämmern 12.

[0049] Fig. 5 verdeutlicht die Veränderungen der geometrischen Verhältnisse im Laufe des Umformprozesses. Gezeigt ist lediglich ein Teil eines Rundknethammers 12, der symmetrisch zu der Mittensymmetrieebene 24 ausgebildet ist. Weiterhin ist ein Abschnitt eines Werkstücks 10' gezeigt, das bereits eine Umformung - hier eine Querschnittsreduktion - erfahren hat. Bei einem Schlag des Rundknethammers 12 auf das Werkstück 10' stehen diese in einem Kontaktpunkt KP miteinander in Berührung. In der Praxis beschränkt sich der Kontakt nicht lediglich auf einen Punkt sondern umfasst eine Zone, die sich - oftmals symmetrisch - um den Kontaktpunkt KP erstreckt (Kontaktzone 34, in Fig. 5 zur Verdeutlichung überproportioniert dargestellt). Wie bereits aus den Fig. 4a bis 4c ersichtlich, liegt ein weiterer - in Fig. 5 nicht gezeigter - Kontaktpunkt zwischen dem Werkstück 10' und der Schlagfläche 13 des Rundknethammers 12 vor, der symmetrisch zu der Symmetrieebene 24 angeordnet ist.

[0050] Im Laufe eines Umformprozesses bewegen sich die Kontaktpunkte von außen nach innen (KP', KP, KP"). Dabei nimmt der Werkstückradius R' ab. Zu jedem Zeitpunkt des Umformprozesses sind in dem jeweils "aktiven" Kontaktpunkt KP der Krümmungsradius R der Schlagfläche 13 und der Werkstückradius R' gleich groß. Das heißt der Mittelpunkt Mw des Werk-

stücks 10' und der Mittelpunkt M des (durch den Krümmungsradius R der Schlagfläche 13 definierten) Krümmungskreises fallen zusammen.

[0051] In dem Kontaktpunkt KP', der in einer früheren Phase des Umformprozesses "aktiv" war, liegen die Verhältnisse zu dem in Fig. 5 gezeigten Zeitpunkt anders: Der Krümmungsradius R der Schlagfläche 13 ist hier größer als der des gemäß Fig. 5 derzeit "aktiven" Kontaktpunkts KP. Der Mittelpunkt M' des dem Kontaktpunkt KP' zugeordneten Krümmungskreises stimmt bei einer fortgeschrittenen Umformung nicht mehr mit dem Werkstückmittelpunkt Mw überein. Der (senkrecht auf der Werkstückoberfläche stehende) Werkstückradius R' ist in dem dargestellten Zustand gemäß Fig. 5 somit inzwischen kleiner als der Krümmungsradius R im Kontaktpunkt KP', der in der früheren Phase der Umformung mit dem Werkstück 10' in Berührung kam, nämlich als der Werkstückradius R' noch dem Krümmungsradius R der Schlagfläche 13 im Kontaktpunkt KP' entsprach.

[0052] Im Kontaktpunkt KP", in dem erst bei einer noch weiter fortgeschrittenen Umformung des Werkstücks 10' die Schlagfläche 13 mit dem Werkstück 10' in Kontakt treten wird, sind die Verhältnisse umgekehrt wie im Kontaktpunkt KP': Der Krümmungsradius R des Kontaktpunkts KP" ist kleiner als der in Fig. 5 gezeigte derzeitige Werkstückradius R'. Der Mittelpunkt M" des Krümmungskreises, der dem Kontaktpunkt KP" zugeordnet ist, liegt daher näher an der Scheitellinie 26' als der Werkstückmittelpunkt Mw.

[0053] Somit liegen alle Mittelpunkte M, M', M" der die Schlagfläche 13 beschreibenden Krümmungskreise in der Mittensymmetrieebene 24. Im Zuge der Umformung wandert der Werkstückmittelpunkt Mw aufgrund der Querschnittsreduktion des Werkstücks 10' hin zu der Scheitellinie 26' der Schlagfläche 13. Vorzugsweise ist der Krümmungsradius R der Schlagfläche 13 in der Scheitellinie 26' gleich dem zu erzielenden Werkstückradius R'. Den vorstehenden geometrischen Betrachtungen ist zu entnehmen, dass die Mittelpunkte M, M', M" und Mw die Mittensymmetrieebene 24 während der Umformung nicht verlassen.

[0054] Simulationsrechnungen haben ergeben, dass durch die Wahl einer linearen Variation des Betrags Ra der Krümmungsradien R der Kontaktpunkte KP, KP' und KP" als Funktion des Abstands X (Abstand der in die Tangentialebene 32' projizierten Kontaktpunkte KP", KP, KP' von der Scheitellinie 26'; vgl. Fig. 2c) eine gleichmäßige Umformung des Werkstücks sichergestellt wird. Die Ausgestaltung der Schlagfläche 13 führt nicht nur zu einer Reduktion der Belastungen sowohl der verwendeten Rundknethammer 12 als auch des Werkstücks 10', sondern reduziert auch die erforderliche Umformarbeit, um eine gewünschte Werkstückumformung zu erzielen.

Bezugszeichenliste

[0055]

10, 10', 10"	Werkstück
12, 12'	Rundknethammer
13	Schlagfläche
14	Übergangswinkel
15	Schlagflächenabschnitt
16	Vorschub
18	Rotation
20	Hammerbewegungsrichtung
22	Hammerstirnseite
24	Mittensymmetrieebene
26, 26'	Scheitellinie
27	Schrägfläche
28, 28'	Krümmungsprofil
30	Randbereich
32, 32'	Tangentialebene
34	Kontaktzone
M, M', M"	Krümmungskreismittelpunkt
Mw	Werkstückmittelpunkt
P	Punkt
KP, KP', KP"	Kontaktpunkt
R	Krümmungsradius
Ra	Betrag des Krümmungsradius
R'	Werkstückradius
S	Bogenlänge
V	Verformung
α	Winkel
Y'	Tangente

Patentansprüche

1. Rundknethammer mit einer Schlagfläche zum Umformen eines Werkstücks an verschiedenen Kontaktpunkten der Schlagfläche, wobei die Schlagfläche (13) in einer Normalebene einer Längsachse des Hammers ein konkaves Krümmungsprofil aufweist, das zwischen einer Scheitellinie (26') der Schlagfläche (13) und beiderseitigen Randbereichen (30) der Schlagfläche (13) variiert, **dadurch gekennzeichnet, dass** jeder Kontaktpunkt (KP, KP', KP'') der Schlagfläche (13) einen Krümmungsradius (R) besitzt, der einen Krümmungskreis mit einem Krümmungskreismittelpunkt (M, M', M'') definiert, wobei die Krümmungskreismittelpunkte (M, M', M'') der Kontaktpunkte (KP, KP', KP'') der Schlagfläche (13) in einer Ebene (24) liegen, die entlang der Längsachse des Hammers (12, 12') verläuft und die die Scheitellinie (26') der Schlagfläche (13) enthält.
2. Rundknethammer nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steigung Y' einer Senkrechten auf den jeweiligen Krümmungsradius (R) in den Kontaktpunkten (KP, KP', KP'') der Relation $Y' = \tan(\arcsin(X/Ra))$ gehorcht, wobei X der auf die Tangentialebene (32) der Scheitellinie (26') projizierte Abstand des betreffenden Kontaktpunkts von der Scheitellinie (26') der

Schlagfläche (13) ist, und wobei Ra der Betrag des jeweiligen Krümmungsradius (R, R') ist.

3. Rundknethammer nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** Ra eine von dem Abstand X oder von einer Bogenlänge S abhängige lineare Funktion ist, wobei S die Länge des Krümmungsprofils zwischen dem betreffenden Kontaktpunkt (KP, KP', KP'') und der Scheitellinie (26') ist.
4. Rundknethammer nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** Ra durch die Gleichung $Ra = k * X + R0$ oder $Ra = k * S + R0$ beschreibbar ist, wobei k eine beliebige Konstante ist und R0 dem Betrag des Krümmungsradius (R) der Schlagfläche (13) in der Scheitellinie (26') entspricht.
5. Rundknethammer nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Krümmungsprofil (28') der Schlagfläche (13) symmetrisch zu einer Mittensymmetrieebene (24) ist, die entlang der Längsachse des Hammers (12, 12') verläuft und die die Scheitellinie (26') enthält.
6. Rundknethammer nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Krümmungsradius (R) ausgehend von der Scheitellinie (26') der Schlagfläche (13) zu den Randbereichen (30) hin zunimmt.
7. Rundknethammer nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Krümmungsradius (R) gemäß einer stetigen Funktion variiert.
8. Rundknetmaschine mit wenigstens zwei Rundknet-hämmern nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche, und mit einer Antriebseinrichtung zum oszillierenden Antrieb der Rundknet-hämmer.

Fig. 1a

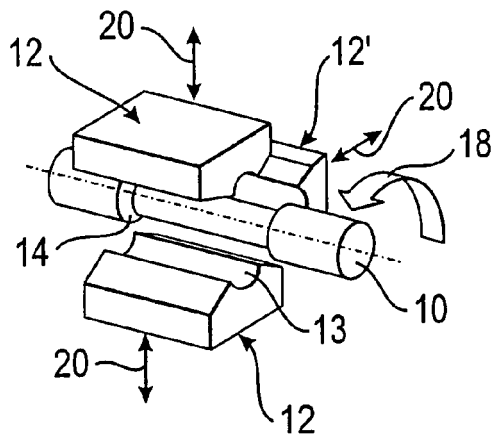


Fig. 1b

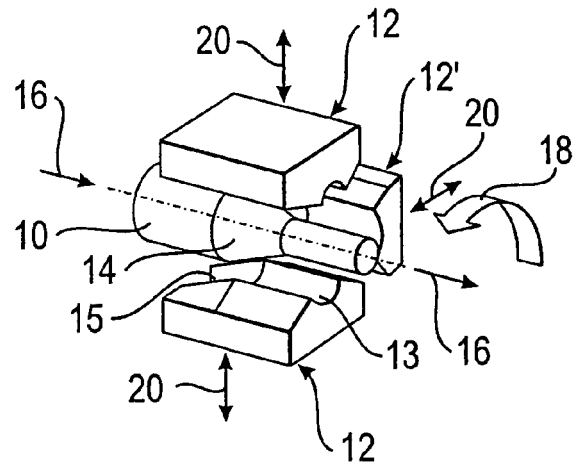


Fig. 2a

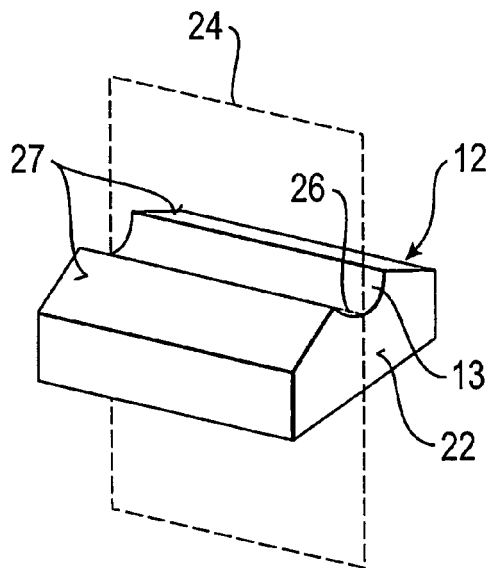


Fig. 2b

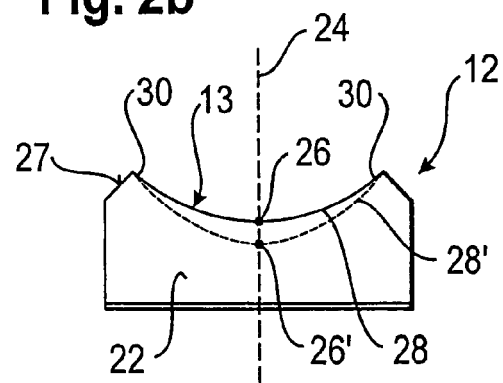


Fig. 2c

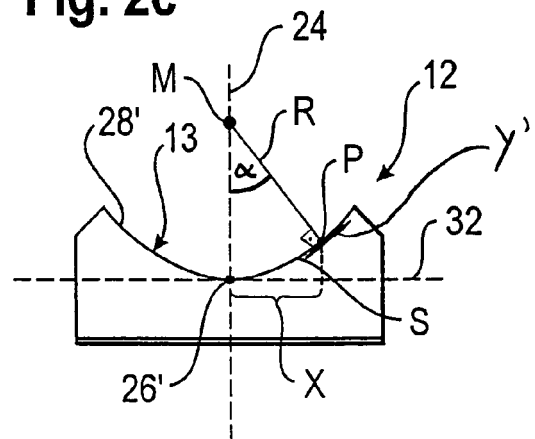


Fig. 3a

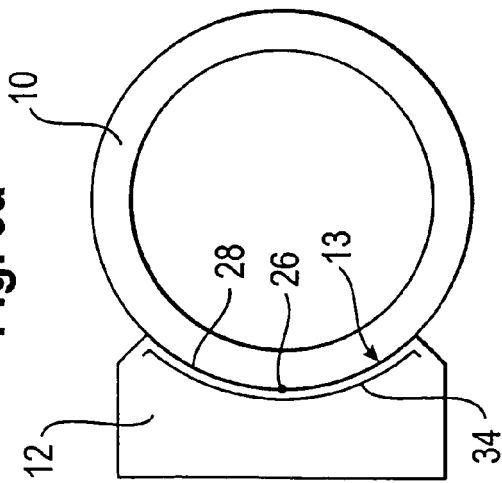


Fig. 3b

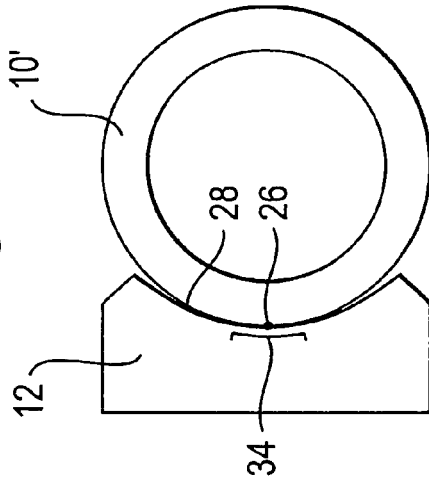


Fig. 3c

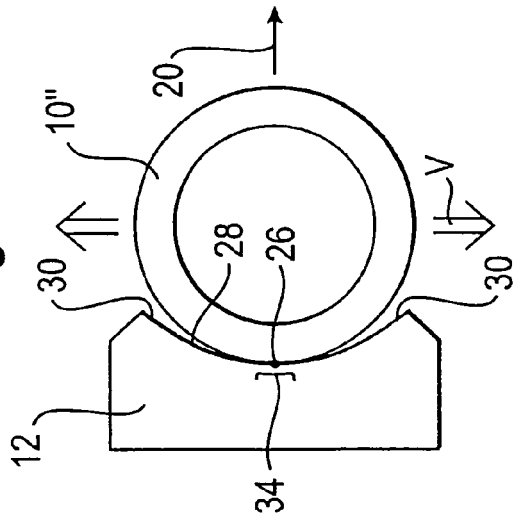


Fig. 4a

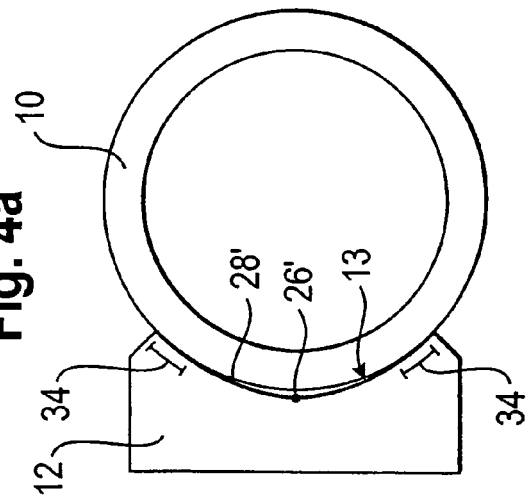


Fig. 4b

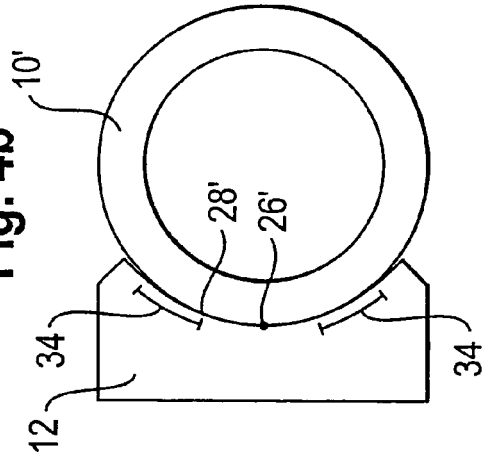


Fig. 4c

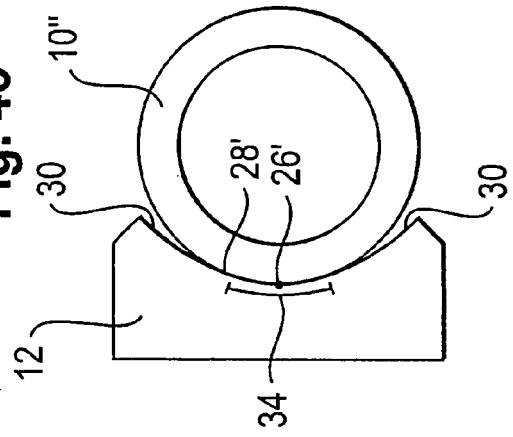
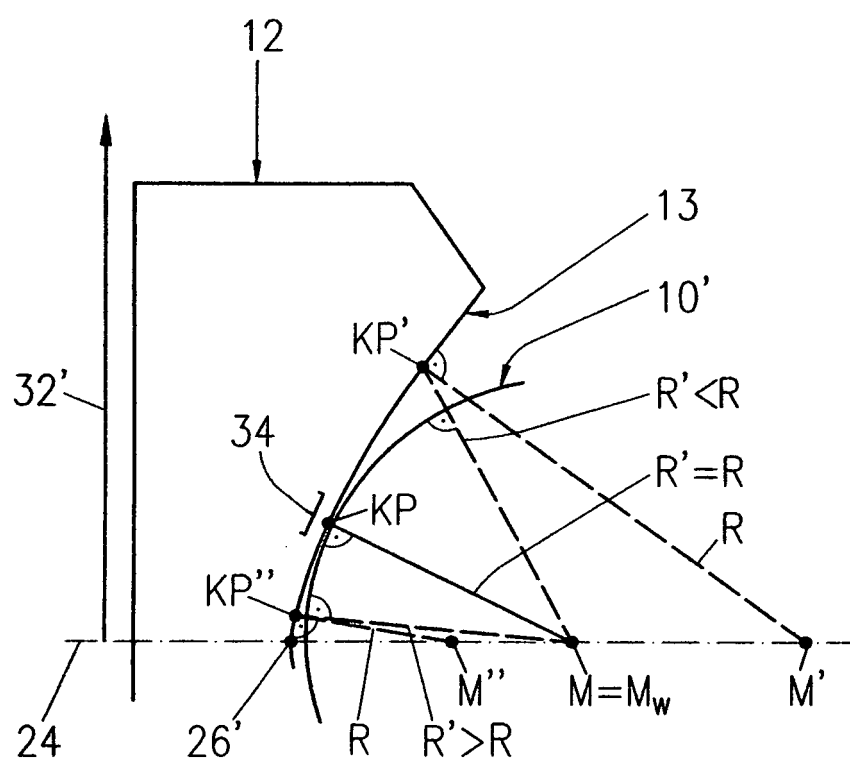


Fig.5





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 08 01 3624

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
D,X	JP 57 165151 A (NISSAN MOTOR) 12. Oktober 1982 (1982-10-12) * Zusammenfassung; Abbildung 3 *	1,2,5,6,8	INV. B21J7/14 B21J13/02
X	JP 2002 263776 A (KOBAYASHI GANKYO KOGYOSHO KK) 17. September 2002 (2002-09-17) * Zusammenfassung; Abbildung 3 *	1,2,5,6,8	
A	GB 473 241 A (GEN ELECTRIC CO LTD) 8. Oktober 1937 (1937-10-08) * Abbildung 4 *	1,8	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			B21J
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 20. Januar 2009	Prüfer Ritter, Florian
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

 1
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 08 01 3624

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

20-01-2009

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP 57165151 A	12-10-1982	JP 1277338 C JP 59052012 B	16-08-1985 17-12-1984
-----	-----	-----	-----
JP 2002263776 A	17-09-2002	KEINE	
-----	-----	-----	-----
GB 473241 A	08-10-1937	KEINE	
-----	-----	-----	-----

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- JP 57165151 A [0007]