



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 699 25 481 T2 2006.02.02

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 075 342 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: 699 25 481.7

(86) PCT-Aktenzeichen: PCT/US99/04867

(96) Europäisches Aktenzeichen: 99 912 287.2

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 99/044777

(86) PCT-Anmeldetag: 04.03.1999

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: 10.09.1999

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 14.02.2001

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: 25.05.2005

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 02.02.2006

(51) Int Cl.⁸: **B23B 35/00 (2006.01)**
B23B 27/12 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

35182 04.03.1998 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE

(73) Patentinhaber:

Rotary Technologies Corp., Rancho Dominguez,
Calif., US

(72) Erfinder:

WEISS, M., Harry, Murrietta, US; SZUBA, S., Philip,
Macomb County, US; BEECHERL, M., Peter,
Macomb County, US; KINSLER, Gregory, Utica, US

(74) Vertreter:

Luderschmidt, Schüler & Partner GbR, 65189
Wiesbaden

(54) Bezeichnung: METALLBOHRER MIT FREIDREHENDEN SCHNEIDEINSÄTZEN

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 eingelebt, 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**GEBIET DER ERFINDUNG**

[0001] Diese Erfindung betrifft das Bohren in Metallen und anderen bearbeitbarer Materialien durch die Verwendung von selbstangetriebenen Rotations-schneidern, die in einem Werkzeugkörper getragen werden.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Die Verwendung von selbstangetriebenen Rotationsschneidern bei der Bearbeitung (Schnei-den) von Metall ist im Zusammenhang mit Drehvor-gängen bekannt, bei denen ein Werkstück in einer Werkbank gedreht wird. Eine derartige Verwendung ist ebenfalls im Zusammenhang mit Fräsvorgängen bekannt.

[0003] Die US-Patente 2 233 724, 2 513 811 und 4 181 049 betreffen frühere und neuere Beispiele der Verwendung von Rotationsschneidern bei Drehvor-gängen. Das US-Patent 3 329 065 ist ein Beispiel der Verwendung derartiger Schneider bei Fräsvorgängen.

[0004] Im Zusammenhang mit der Bearbeitung von Metallen sind selbstangetriebene Rotationsschneider ringförmige Elemente, die aufgrund ihrer Austausch-barkeit in einem geeigneten Träger oder Werkzeug-körper häufig „Einsätze“ genannt werden, die viel härter als die Metalle sind, für die sie zum Schneiden verwendet werden. Die Schneidereinsätze können in verschiedenen Geometrien bereitgestellt werden, wobei jedoch flache Unterlegscheibe-artige Geometrien üblich sind und häufig bevorzugt werden, da sich ihre einfache Geometrie auf verringerte Kosten be-zieht. Ein Schneidereinsatz wird in einem Werkzeug-körper zur Rotation um die Schneiderachse getra-gen. Entweder durch geeignete Auslegung eines Fräswerkzeugkörpers und wie er den Schneider drehbar trägt, oder durch geeignete Positionierung des Werkzeugkörpers mit seinem Schneider bezo-gen auf ein rotierendes Werkstück in einer sich drehenden Werkbank, werden eine Umfangsschneider-fläche und eine benachbarte Kante an dem Schnei-derelement in eine gewünschte Position bezogen auf ein zu drehendes oder zu fräsendes Werkstück plat-ziert. Diese gewünschte Positionsbeziehung zwi-schen dem Schneider und dem Werkstück während Schneidvorgänge, bei denen entweder der Schnei-der oder und das Werkstücks bezogen zueinander gedreht werden und der Schneider in das Werkstück bewegt wird, verursacht die Reibung zwischen dem Schneider und dem Werkstück, um den Schneider um seine eigene Achse zu drehen. Diese Reibung ist die Reibung zwischen dem Schneider und Metallspä-nen, die durch den zwangsweisen Kontakt zwischen dem Schneider und dem Werkstück gebildet werden.

Wenn sich der Schneider um seine Achse dreht, be-wegen sich neue Abschnitte der Fläche und Kante des Schneiders in schneidenden Kontakt mit dem Werkstück, während diejenigen Teile der Fläche und der Kante, die sich aus diesem Kontakt bewegt ha-ben, im Stande sind, sich abzukühlen, bevor das Werkstück erneut kontaktiert wird. Diese Fähigkeit ei-nes sich drehenden Schneiders, viel kälter als ein Nicht-Rotationsschneider unter vergleichbaren Bear-betungsbedingungen zu bleiben, gibt einem Rotati-onsschneider eine bedeutend längere nutzbare Le-bensdauer als einem Nicht-Rotationsschneider.

[0005] Trotz Anregungen in einiger Literatur über den Nutzen von selbstangetriebenen Rotations-schneidern bei Bohrvorgängen, wurden, soweit wie bekannt ist, derartige Schneider bis heute tatsächlich nur bei Dreh- und Fräsvorgängen verwendet. Wie vollständiger in der folgenden ausführlichen Be-schreibung eines beispielhaften Bohrwerkzeugs mit selbstangetriebenen Rotationsschneidern ange-merkt werden wird, haben Dreh- und Fräsvorgänge dahingehend, wie sie Kräfte an Rotationsschnei-der-Einsätze anlegen, miteinander viel gemeinsam, wohingegen Bohrvorgänge einen beträchtlich un-terschiedlichen Arbeitsmodus und einen Satz von Schneidereinsatz-Ladebedingungen und Wirkungen präsentieren. Diese Unterschiede und ein offensicht-lich fehlendes Verständnis von ihnen stellen eine Bar-riere für die erfolgreiche und wirksame Verwendung von selbstangetriebenen Rotationsschneidern bei Metallbohrvorgängen dar.

[0006] Metallbohren unterscheidet sich von Bohren aus dem Vollem (drilling). Bohren setzt die Anwesen-heit in einem Werkstück eines grob kreisförmigen zy-lindrischen Lochs, Hohlraums oder Durchgangs vor-aus, deren Wänden zu bearbeiten sind, um ein zylin-drisches Loch, beispielsweise mit einem spezifi-zierten Durchmesser und einer gewünschten Ober-flächenbearbeitung, bereitzustellen. Bohren ist der Vorgang, der verwendet wird, um diese Ziele zu errei-chen. Andererseits setzt Bohren aus dem Vollem im Allgemeinen voraus, dass das Werkstück kein Loch, Hohlraum oder Durchgang an dem Ort von Interesse aufweist; Bohren aus dem Vollem kann der Vorgang sein, der verwendet wird, um ein derartiges Loch, Hohlraum oder Durchgang eines spezifizierten Durchmessers und, falls geeignet, die gewünschte Oberflächenendbearbeitung zu erzeugen. Bohrungen weisen gewöhnlicherweise Beziehungen von Durchmesser zu Länge auf, die viel größer als die Lö-cher sind, die beispielsweise durch Bohren aus dem Vollem erzeugt werden.

[0007] Metallbohrvorgänge stellen zunehmend Be-arbeitungsbedingungen dar, bei denen selbstangetrie-bene Rotationsschneider zu großem Vorteil ver-wendet werden könnten, jedoch bis heute nicht so ver-wendet wurden. Beispielsweise stimulieren in der

Kraftfahrzeugindustrie viele Faktoren, insbesondere Wünsche nach erhöhten Kraftstoffwirkungsgrad durch die Verwendung leichterer Fahrzeuge, Kraftfahrzeughersteller, Motoren zu produzieren, die vorherrschend aus Aluminium oder anderen Legierungen mit geringem Gewicht oder anderen Materialien (wie beispielsweise kompaktes Graphit-Eisen, eine Sonderform von Gusseisen) hergestellt sind, was ermöglicht, dass der Motorblock insgesamt leichter ist. Aluminium ist attraktiv, da es leicht und vergleichsweise kostengünstig ist. Aluminium ist jedoch nicht für seinen Abriebwiderstand insbesondere bei hohen Temperaturen bekannt, es sei denn, dass es speziell und kostenaufwändig mit anderen Materialien legiert wird.

[0008] Kraftfahrzeugmotorblöcke werden anfangs durch Gussprozesse und dann durch Fertigbearbeitungsprozesse geformt, die Bohren aus dem Vollem, Anbohren, Fräsen, Bohren und andere Bearbeitungsprozesse umfassen. Wenn Gussaluminium verwendet wird, um den rohen Motorblock zu bilden, werden die Wände der Zylinderbohrungen in diesen Motoren häufig durch eine Metallhülse definiert, die einen hohen Abriebwiderstand bei hohen Temperaturen aufweist. Die Zylinderwände können dann durch bearbeitete Hülsen, die in ein bearbeiteten Motorblock eingefügt sind, oder vorzugsweise durch im Allgemeinen röhrenförmige Stücke aus derartigem abriebwiderstandsfähigen Material gebildet werden, um das der Aluminium-Motorblock bei dem Gießen des Blocks gebildet wird. In der letzteren Situation ist ein wünschenswertes Material, das beim Bilden des Zylindereinsatzes zu verwenden ist, kompaktiertes Graphiteisen oder „CGI“. CGI ist aufgrund seiner hohen Zug- und Scherfestigkeit, die ein Schneider während der Bearbeitung überwinden muss, ein sehr schwierig zu bearbeitendes Material. Bis heute wurde, soweit wie bekannt ist, CGI nicht als ein Zylindereinsatzmaterial bei der Fertigung von Kraftfahrzeugmotorblöcken verwendet. Graues Eisen (Gusseisen) ist das häufigste Material, aus dem Produktions-Motorblöcke gegossen und in den Zylinderbohrungen heraus gearbeitet werden.

[0009] Transferstraßen werden häufig bei der Fertigung eines fertigbearbeiteten Kraftfahrzeugmotorblocks aus einem rohen Motorblockguss verwendet. Eine Transferstraße umfasst eine Reihe von Bearbeitungsstationen, durch die ein Motorblock nacheinander läuft und bei denen ein oder einige besondere Bearbeitungsvorgänge an einem Blockguss durchgeführt werden. Moderne Transferstraßen sind hoch automatisiert. Rohe Blockgüsse werden manuell oder durch Roboter oder andere Mechanismen in ein Ende einer Transferstraße geladen, und fertigbearbeitete Blöcke werden auf eine ähnliche An und Weise von dem anderen Ende der Straße entladen. Zwischen den Enden einer Transferstraße werden Blöcke normalerweise nicht von menschlichen Händen

berührt. Transferstraßen arbeiten am effizientesten, wenn die Notwendigkeit minimal ist, abgenutzte oder stumpfe Metallschneiderelemente an den verschiedenen Bearbeitungsstationen auszutauschen. Bis jetzt sind, wenn Motorblöcke in automatisierten Transferstraßen für die Bearbeitung gehandhabt wurden, die Zylinderbohrvorgänge häufig, wenn nicht allgemein, die Vorgänge, die die Geschwindigkeit und den Wirkungsgrad der gesamten Transferstraße begrenzen. Der Grund ist die Notwendigkeit, vergleichsweise häufig Bohrwerkzeuge auszutauschen, in denen die Metallschneidelemente in den Werkzeugen angebracht sind und die eine kurze Nutzlebensdauer aufgrund der hohen Temperaturen aufweisen, die sie erfahren, wenn sie kontinuierlich verwendet werden. Es ist für moderne automatisierte Transferstraßen ziemlich üblich, zwei aufeinanderfolgende Zylinderbohrstationen jeweils für rohes und halbfertiges Bohren gefolgt von einer Zylinderhonstation aufzuweisen. Somit ist das Zylinderbohren von Motorblöcken seit langem eine schwierige Materie in der Kraftfahrzeugindustrie.

[0010] Hinsichtlich des Vorhergehenden ist ersichtlich, dass bei der Herstellung von leichten Kraftfahrzeugmotoren in automatisierten Transferstraßen lange ein bedeutender Bedarf unter anderem nach den Vorteilen selbstangetriebener Rotationsschneidern bei Metallbohrvorgängen existiert hat. Die Aspekte dieser Erfindung, die sie für die verarbeitende Kraftfahrzeugindustrie nützlich machen, machen ebenfalls die Erfindung in anderen Industrien nützlich, die Metallbohrprozesse praktizieren.

[0011] Die US-A-5 478 175 offenbart eine Schneideinsatzanordnung, die einen drehbaren Schneideinsatz zum Schneiden eines Materials und einen Rotationsträger zum drehbaren Tragen des Schneideinsatzes aufweist. Die Struktur zum Halten des Schneideinsatzes an dem Träger und zum Einleiten der Rotation des Schneideinsatzes, wenn der Schneideinsatz das Material schneidet, wird ebenfalls bereitgestellt.

[0012] Die vorliegende Erfindung ist, wie in den Ansprüchen beansprucht.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0013] Diese Erfindung ermöglicht, den oben identifizierten Bedarf vorteilhaftweise anzusprechen. Sie tut dies, indem unter anderem ein Bohrwerkzeug zur Metallverarbeitung bereitgestellt wird, bei dem die Schneidoberflächen und -kanten des Werkzeugs Oberflächen und Kanten von selbstangetriebenen Rotationsschneidereinsätzen sind. Die Einsätze werden in einem Bohrwerkzeugkörper in Positionen getragen, die es ihnen ermöglichen, sich in richtige Richtungen mit gewünschten Geschwindigkeiten zu drehen, die ausreichen, um ein ausreichendes Küh-

len der Schneidoberflächen und Kanten zu gewährleisten, wenn das Bohren mit korrelierten Zufuhrraten und Schneideroberflächen-Geschwindigkeiten voranschreitet.

[0014] Allgemein gesagt ist ein Strukturaspekt dieser Erfindung ein Bohrwerkzeug, das einen Körper aufweist, der entlang einer primären Werkzeugachse während des Bohrens drehbar und entlang dieser vorrückbar ist. Der Werkzeugkörper trägt ein sich drehendes rundes Schneidelement, das an dem Körper zur Rotation um eine sekundäre Achse angebracht ist, die bezogen auf die primäre Achse feststehend ist. Das Schneiderelement umfasst eine kreisförmige Schneidkante, die eine Schneidoberfläche begrenzt. Die Schneidoberfläche liegt im Allgemeinen in Richtung der Bohrrotation des Werkzeugkörpers, d.h. in der Richtung, in die das Werkzeug bezogen auf das Werkstück vorgerückt wird, wenn das Werkzeug verwendet wird, das Werkstück zu bohren. Die Beziehung der primären und sekundären Achse ist festgelegt, sodass an einer Schneidposition an dem Element, die an dem Platz des maximalen Abstands der Schneidkante radial von der primären Achse angeordnet ist, die Schneidoberfläche radiale und axiale Spanwinkel bezogen auf die primäre Achse aufweist. Die radialen und axialen Spanwinkel sind bezogen zueinander definiert, um die Rotation des Schneiderelements in einer ausgewählten Richtung um die sekundäre Achse mit mindestens einem ausgewählten Betrag des Drehmoments während der Bohrverwendung des Werkzeugs sicherzustellen.

[0015] Ein weiterer Strukturaspekt dieser Erfindung wird in einer Schneiderelement-Halterung für ein rundes drehbares Schneidelement gefunden, das in einem Bohrwerkzeug nützlich ist. Das Werkzeug weist einen Körper auf, der um eine Werkzeugachse während des Bohrens drehbar und entlang dieser vorrückbar ist. Die Halterung umfasst eine Basis und ein ringförmiges drehbares Schneiderelement, das drehbar durch die Basis zur Rotation um eine Schneiderachse getragen wird. Das Schneiderelement umfasst eine Fläche, die sich im Wesentlichen radial von der Schneiderachse erstreckt, und ebenfalls eine periphere Schneidkante, die die Oberfläche begrenzt. Die Halterung umfasst Strukturmerkmale, durch die die Halterung fest mit dem Werkzeugkörper in einer vorbestimmten Beziehung mit dem Körper verbunden werden kann. Diese Beziehung ist eine, bei der sich die Schneidoberfläche des Elements in die Richtung der Bohrrotation des Werkzeugkörpers um seine Achse öffnet. Diese Beziehung ist außerdem eine, bei der die Schneidoberfläche des Elements ausgewählte axiale und radiale Spanwinkel bezogen auf die Werkzeugachse an einer Schneidposition an dem Element aufweist. Die Schneidposition des Elements ist der Platz des maximalen Abstands der Schneidkante von der Werkzeugachse. Die radialen und axi-

alen Spanwinkel weisen Werte auf, die die Rotation des Schneiderelements um die Schneiderachse in einer ausgewählten Richtung mit einem ausgewählten Drehmomentbetrag bei dem Bohrvorgang des Werkzeugs gewährleistet.

[0016] Ein Verfahrensaspekt dieser Erfindung liefert ein Verfahren für die Bearbeitung einer Bohrung eines spezifizierte Durchmessers in einem Werkstück eines spezifizierten Materials mit einem selbstangetriebenen Rotationsschneiderelement. Das Verfahren umfasst die Schritte mit Bezug auf die Eigenschaften des Werkstückmaterials erste Betriebswerte für die Elementgeschwindigkeit, die Tiefe des Schnitts und der axialen Zufuhrrate zu definieren. Das Verfahren umfasst den Schritt des Festlegens für diese ersten Betriebswerte die Beziehungen von axialen und radialen Spanwinkel des Schneiderelements zu den tangentialen, radialen und axialen Schneidkräften und dem Drehmoment des Schneiderelements. Das Verfahren umfasst ebenfalls das Identifizieren von Schneiderelement-Spanwinkeln für maximales Drehmoment in einer gewünschten Richtung um die Drehachse des Schneiderelements und das Festlegen von Lagerkräften des Schneiderelements an den identifizierten Spanwinkel. Ein drehbares Bohrwerkzeug wird bereitgestellt, das einen Schneidpunkt aufweist, der radial von der Werkzeugachse um einen Abstand beabstandet ist, der gleich einer Hälfte des spezifizierten Bohrdurchmessers ist und an der Schneidstelle die identifizierten axialen und radialen Spanwinkel aufweist. Das Werkzeug wird mit einer Winkelgeschwindigkeit, die für die definierte Schneidgeschwindigkeit produktiv ist, und bei der definierten axialen Zufuhrrate an dem Werkstück betrieben, um die Bohrung herauszuarbeiten.

BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0017] Die vorhergehenden und weitere Merkmale und Vorteile dieser Erfindung werden vollständiger in der folgenden ausführlichen Beschreibung gegenwärtig bevorzugter Ausführungsformen der Erfindung dargelegt, die mit Bezug auf die begleitenden Zeichnungen präsentiert werden, in denen zeigen:

[0018] [Fig. 1](#) einen Seitenaufriss eines Bohrwerkzeugs mit selbstangetriebenen Rotationsschneidern, die an seinem oberen Ende getragen werden;

[0019] [Fig. 2](#) eine obere Draufsicht des Bohrwerkzeugs;

[0020] [Fig. 3](#) ein Aufriss einer Rotationsschneider-Halterungsbasis, von denen drei Bauteile des in [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) gezeigten Werkzeugs sind, wobei ein Rotationsschneidereinsatz und andere Bauteile der Halterung fragmentarisch gezeigt sind;

[0021] [Fig. 4](#) ein Aufriss der Halterungsbasis, der

entlang der Linie 4-4 in [Fig. 3](#) genommen ist;

[0022] [Fig. 5](#) ein fragmentarischer Aufriss des Körpers des Bohrwerkzeugs ohne die Schneiderhalterungen in dem Körper;

[0023] [Fig. 6](#) eine obere Draufsicht des Werkzeugkörpers;

[0024] [Fig. 7](#) eine obere Draufsicht eines hinteren Halterungsverriegelungselements;

[0025] [Fig. 8](#) ein Aufriss des hinteren Halterungsverriegelungselements;

[0026] [Fig. 9](#) eine obere Draufsicht eines vorderen Halterungsverriegelungselements;

[0027] [Fig. 10](#) ein Aufriss des vorderen Halterungsverriegelungselements; und

[0028] [Fig. 11](#) bis [Fig. 15](#) graphische Darstellungen der Beziehungen zwischen bestimmten Variablen, die für die Auslegung des in [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) gezeigten Bohrwerkzeugs und für andere Bohrwerkzeuge und Schneiderhalterungen gemäß dieser Erfindung relevant sind. In jeder der [Fig. 11](#) bis [Fig. 15](#) ist die Abszisse (horizontale Achse) der axiale Spanwinkel in Inkrementen von einem Grad durch den Bereich von -20° (Ursprung) bis 0° . In jeder dieser graphischen Darstellungen sind die Konturenwerte des radialen Spanwinkels in 1° Inkrementen durch den Bereich $\beta = 0^\circ$ bis $\beta = -20^\circ$. Die Ordinaten (vertikale Achse) in [Fig. 11](#) bis [Fig. 15](#) sind wie folgt:

[0029] [Fig. 11](#): tangentiale Schneidkraft in Pfund;

[0030] [Fig. 12](#): radiale Schneidkraft in Pfund;

[0031] [Fig. 13](#): axiale Schneidkraft in Pfund;

[0032] [Fig. 14](#): Einsatz-Drehmoment in Pfund-Zoll; und

[0033] [Fig. 15](#): Einsatzgeschwindigkeit in Umdrehungen je Minute.

[0034] In allen Fällen ist die Schneidgeschwindigkeit gleich 2641 Oberflächenfuß je Minute, (805 m/min), die Tiefe des Schnitts gleich 0,0157 Zoll(0,40 mm) und die Zufuhrrate gleich 0,006 Zoll (0,15 mm) je Zahn. Ein Zahn ist eine Schneidkante in dem Werkzeug. Die Zufuhrrate je Zahn ist die gesamte Werkzeugvorschubrate je Umdrehung geteilt durch die Anzahl von Schneidkanten in dem Werkzeug.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0035] [Fig. 1](#) ist ein Seitenaufriss eines Bohrwerk-

zeugs **10** gemäß dieser Erfindung. Das Werkzeug umfasst einen Körper **11**, der ein Spindelende **12** aufweist, wobei benachbart zu diesem der Körper eine Basis **13** definiert, die der Abschnitt des Werkzeugs ist, der in der angetriebenen Rotationsspindel einer geeigneten Bohrmaschine oder eines Bearbeitungszentrums (nicht gezeigt) gehalten wird. Wenn das Werkzeug in einem Bearbeitungszentrum zu verwenden ist, das Mechanismen zum automatischen Wechseln von Werkzeugen zwischen dem Auftreten unterschiedlicher Bearbeitungsvorgängen aufweist, die von dem Zentrum durchgeführt werden, beinhaltet die Werkzeugbasis **13** derartige Strukturmerkmale, wie sie notwendig sind, um ordnungsgemäßes Einrasten, Ineingriffnahme und Indexieren mit und in den Werkzeug-Handhabungsmechanismen des Zentrums zu erreichen. Beispielhaft entspricht die Geometrie der Basis **13** des in [Fig. 1](#) gezeigten Werkzeugs den Anforderungen für Werkzeug-Schankkonfigurationen und Maschinenwerkzeugspindel-Auslegerungen gemäß den ABS-80-Kriterien. Der Werkzeugkörper weist ebenfalls ein gegenüberliegendes Bohrende **14** auf. Üblicherweise ist das Bohrende **14** des Werkzeugs **10** sein niedrigeres Ende während der Verwendung des Werkzeugs bei Metallbohrvorgängen. Bei Bohrvorgängen werden die Wände eines existierenden, im Allgemeinen kreisförmigen zylindrischen Lochs oder Hohlraums in einem Metallwerkstück (wie beispielsweise ein Kraftfahrzeugmotorblock) bearbeitet (weggeschnitten), um eine echte kreisförmige zylindrische Wandoberfläche eines spezifizierten Durchmessers zu definieren, der durch die Geometrie des Bohrwerkzeugs an der Position seines (seiner) Metallschneiderelement(en) bestimmt wird.

[0036] An seinem Bohrende **14** trägt das Werkzeug **10** drehbar drei Rotationsschneiderelemente **15**, die hier ebenfalls als Schneider oder Schneidelemente bezeichnet werden und die allgemein in der Bearbeitungsindustrie als Einsätze bekannt sind. Die Schneiderelemente **15** werden aus einem Material definiert, das viel härter als das Metall ist, die die Elemente während der Bohrverwendung des Werkzeugs in Eingriff nehmen werden; ein bevorzugtes Schneiderelementmaterial ist Siliziumnitrid, ein Keramikmaterial.

[0037] Wie in [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) gezeigt ist, trägt das Werkzeug **10** jedes Schneiderelement als ein Bauteil eine jeweilige Schneiderelementhalterung **16**, die in der Form einer Kassette ist. Jede Kassette ist ohne weiteres in den Werkzeugkörper einsetzbar und aus diesem entfernbare, um den effizienten Austausch in dem Werkzeug von abgenutzten Schneiderelementen und den Austausch anderer Kassetten innerhalb der Kapazität des Werkzeugs zu erleichtern, und ist nützlich, um Bohrungen unterschiedlichen Durchmessers zu bearbeiten. Die Schneiderkassetten **16** sind vorzugsweise identisch und entsprechen in der gezeigten Form im Allgemeinen den Offenbarungen

des US-Patents 4 477 211. Jede Kassette umfasst eine Basis **18** (auch ein Stator genannt) und ebenfalls einen Rotor **19**, einen Schneidereinsatz **15**, einen Spandeflektor **20** und eine Klemm-Mutter **21**, die an einem durch den Stator definierten Schaft (siehe [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#)) angebracht sind. Obwohl hier nicht gezeigt, jedoch in Übereinstimmung mit dem US-Patent 4 477 211, ist der Rotor vorzugsweise mit dem Statorschaft durch ein Schublager, ein Nagellager und ein Kugellager gekoppelt. Diese Lager sind zwischen dem Stator und dem Rotor angeordnet, um den Rotor an dem Stator drehbar anzubringen und die an den Rotor durch den Schneidereinsatz während des Bohrens angelegten axialen Lasten zu dem Stator zu transferieren. Der Statorschaft bildet tatsächlich eine Achse, um die sich der Schneidereinsatz drehen kann. Die Klemm-Mutter ist mit dem Statorschaft über ein Gewinde **25** verbunden (siehe [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#)), das in dem Ende des Schafts ausgebildet ist, das von dem großen Ende des Schafts beabstandet ist. Die Gewinde **25** weisen vorzugsweise eine Gängigkeit auf, die der Gängigkeit der Richtung entgegengesetzt ist, in der sich der Schneidereinsatz um den Statorschaft während des Bohrens dreht. Somit drehen sich im Werkzeug **10** Einsätze **15** in Uhrzeigerrichtung (d.h. in einer rechtsgängigen Richtung) um den Statorschaft, wenn entlang der Schaftachse von dem Gewindeende der Welle aus betrachtet, und somit sind die Gewinde **24** linksgängige Gewinde.

[0038] Der Schneiderkassetten-Stator **18** ist ohne weiteres in dem Werkzeugkörper **11** anbringbar und aus diesem abnehmbar auf Grund der Anwesenheit von Strukturmerkmalen in dem Stator, die diese Vorteile bieten, und die ebenfalls die Statorachse **27** veranlassen, eine vorbestimmte feste Position in dem Werkzeugkörper bezogen auf die zentrale Achse **28** des Werkzeugkörpers aufzuweisen. Ein gegenwärtig bevorzugter Satz derartiger Strukturmerkmale umfasst eine rippenähnliche männliche Schwalbenschwanz-Verbindungshälfte **22**, die in der Fläche des Stators definiert ist, die von den Gewinden **25** entgegengesetzt ist. Die männliche Schwalbenschwanzrippe **22** wirkt mit einer rillenähnlichen weiblichen Schwalbenschwanz-Verbindungshälfte **23** zusammen (siehe beispielsweise [Fig. 2](#)), die in der hinteren Fläche einer jeweiligen Ausnehmung **17** in dem Werkzeugkörper ausgebildet ist. Die Mittellinie jeder weiblichen Schwalbenschwanzrille ist herkömmlicherweise und vorzugsweise parallel zu der Werkzeugachse **28**. Die Mittellinie der männlichen Schwalbenschwanzrippe **22** ist jedoch in den meisten Fällen nicht senkrecht zu der Statorschaftachse **27**, sondern ist von der Senkrechten zu dieser Achse um einen Winkel γ verschoben, der unter den beschriebenen Umständen den axialen Spanwinkel α des jeweiligen Schneidereinsatzes definiert (und gleich diesem ist, wenn er von dem Werkzeugkörper getragen wird. Dies wird in [Fig. 3](#), die ein Aufriss des

Kassetten-Stators ist, von der Seite des Stators aus betrachtet gezeigt, die zu der Werkzeugachse **28** hin liegt, wenn der Stator in dem Werkzeug über die Schwalbenschwanzverbindung **22, 23** angebracht ist. Die an dem Stator durch den Rotor **19**, den Schneidereinsatz **15**, den Spandeflektor **20** und die Klemm-Mutter **21** belegten Positionen werden durch gestrichelte Linien in [Fig. 3](#) dargestellt.

[0039] [Fig. 4](#), die eine entlang der Linie 4-4 in [Fig. 3](#) genommene Ansicht eines Kassetten-Stators **18** ist, zeigt, dass die männliche Schwalbenschwanzrippe vorzugsweise nicht an der Statorachse (d.h. der Achse **27**) zentriert ist, sondern seitlich von dieser Achse zu der Seite des in [Fig. 3](#) gezeigten Stators hin versetzt ist. Dieser Versatz ermöglicht jeder Schwalbenschwanzrille **23** in dem Werkzeugkörper an einem Platz definiert zu sein, der ausreichend nach innen von dem Umfang des Werkzeugkörpers in der Nähe einer Ausnehmung **17** ist, um eine starke Verbindung der Statorbasis mit dem Werkzeugkörper zu gewährleisten, und ermöglicht ebenfalls, dass der Statorschaft vergleichsweise weit von der Werkzeugachse **28** ist, sodass der Durchmesser des Schneidereinsatzes **15** konsistent mit dem Durchmesser des Lochs niedrig gehalten werden kann, das er während der Verwendung des Werkzeugs **10** schneiden wird. Der Versatz der männlichen Schwalbenschwanzrippe **22** von der Achse **27** liefert ebenfalls ein robustes Strukturmerkmal an dem extremen Gewindeende des Statorschafts, um zu ermöglichen, dass das Schaftende wirksam mit dem Werkzeugkörper geklemmt wird, wie in [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) gezeigt und wie nachstehend beschrieben ist.

[0040] Weitere Komponenten der Strukturmerkmale des Stators, die ermöglichen, die Position der Statorachse **27** bezogen auf die Werkzeugachse **28** festzulegen, wenn der Stator in dem Werkzeugkörper angebracht ist, umfassen zwei vorzugsweise flache Oberflächen **30** und **31**, die in dem Statorschaft an dem Abschnitt dem Schaft ausgebildet sind, der das Gewinde **25** definiert; diese Oberflächen werden am besten in [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) gezeigt. Diese Oberflächen arbeiten mit einem vorderen Klemmanschlaglement **33** zusammen, das in [Fig. 9](#) und [Fig. 10](#) und in seiner installierten Position in [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) gezeigt ist. Eine Statorschaftoberfläche **30** ist vorzugsweise parallel zu der Schaftachse **27** und parallel zu der länglichen Länge der Schwalbenschwanzrippe **22**. Ihre Position in dem Stator wird in Zusammenarbeit mit der Form einer Werkzeugkörper-Kassettenausnehmung **17** bestimmt, sodass, wenn eine Kassette in der Ausnehmung über die Schwalbenschwanzverbindung angebracht ist, die Oberfläche **30** gegen eine flache Oberfläche **34** der Ausnehmung **17** liegt. Die Oberfläche **31** ist bezogen auf die Oberfläche **30** in allgemeiner keilähnlichen Zusammenarbeit mit der Oberfläche **30** gewinkelt. Wie am besten in [Fig. 2](#) gezeigt ist, wird die Oberfläche **31** durch

eine rückwärtige (bezogen auf die Richtung der Bohrrotation des Werkzeugs **10**) Zungenverlängerung **35** eines entsprechenden vorderen Anschlagelements in dem voll zusammengebauten Bohrwerkzeug in Eingriff genommen. Ein vorderes Klemmenschlagelement weist einen im Allgemeinen röhrenförmigen Körper **36** auf, von dem sich die Verlängerung **35** vorzugsweise radial erstreckt; wobei das Ausmaß der Verlängerung in der Richtung der Länge des Körpers **36** geringer als die Körperlänge von einem Ende des Körpers ist. Ein Gewindeloch **37** ist axial in dem Anschlagkörper **36** ausgebildet.

[0041] Bei einem zusammengebauten Bohrwerkzeug **10** wird ein vorderes Klemmenschlagelement in einem Hohlraum **39** aufgenommen, der in dem Werkzeugkörper im Wesentlichen in der Ausnehmungsoberfläche **34** ausgebildet ist (siehe beispielsweise [Fig. 5](#)). Der Hohlraum **39** ist konturiert, sodass sich ein darin platziertes Anschlagelement nicht drehen kann, und seine Erweiterung **35** rastet mit der Oberfläche **31** der entsprechenden Schneidereinsatzkassette ein. Das vordere Klemmenschlagelement ist in dem Werkzeugkörper durch eine Schraube (nicht gezeigt) gesichert, wobei die Innenoberfläche **40** der Anschlagverlängerung zwangsweise mit der Statorrendoberfläche **31** in Eingriff genommen wird, um das Ende des Statorschafts gegen den Werkzeugkörper in der Ausnehmung **17** zu klemmen. Die Schraube, die verwendet wird, um den Klemmenschlag **33** in dem Hohlraum **39** zu sichern, nimmt den Werkzeugkörper in einem Gewindeloch **41** in Eingriff, das in dem Körper an dem Boden des Hohlraums ausgebildet ist.

[0042] Die korrekte Position einer Schneidereinsatzkassette **16** axial von dem Werkzeugkörper **11** wird durch einen Positionierstift **43** definiert ([Fig. 1](#)), der in einem in dem Werkzeugkörper ausgebildeten Loch **44** gehalten wird. Das Loch **44** läuft durch die entsprechende Schwalbenschwanzrille **23**, wie es der in diesem Loch angeordnete Stift tut. Der Stift wirkt als ein Positionierungsanschlag für die Schwalbenschwanzrippe, wenn die Kassette in den Werkzeugkörper über die Schwalbenschwanzrille eingelegt wird. Somit nimmt der Stift **43** das Ende der Schwalbenschwanzrippe an dem Ende der Rippe in Eingriff das an dem unteren rechten Eckenabschnitt von [Fig. 3](#) gezeigt ist. Da das längliche Ausmaß der Schwalbenschwanzrille **23** in dem Werkzeugkörper parallel oder im Wesentlichen parallel zu der Werkzeugsrotationsachse **28** angeordnet ist, definiert die Zusammenarbeit eines Stifts **43** mit der Kassetten-Schwalbenschwanzrippenstruktur die Grenze der Bewegung der Kassette in dem Werkzeugkörper entlang der Werkzeugachse **28**. Diese Grenze legt ihrerseits – abhängig von der Länge der Schwalbenschwanzrippe **22** in der Kassette die Position des Schneidpunkts dieser Kassette **55** – entlang der Werkzeugachse **28** fest. Wie aus den folgenden Be-

schreibungen ersichtlich sein wird, kann die Einstellung sowohl der Position eines besonderen Positionierstifts **43** in dem Werkzeugkörper als auch die wirksame Länge einer entsprechenden Kassetten-Schwalbenschwanzrippe verwendet werden, um die axiale Staffelung eines entsprechenden Schneidereinsatzschneidpunktes bezogen auf die Schneidpunkte anderer, in dem Werkzeug **10** getragenen Schneideinsätzen festzulegen.

[0043] Die Schwalbenschwanzrippe einer Kassette wird an dem Werkzeugkörper durch die Wirkung eines hinteren Klemmenschlagelements **46** geklemmt, das im Allgemeinen ähnlich dem jeweiligen vorderen Klemmenschlagelement **33** ist, wobei jedoch die untere Oberfläche seiner Verlängerung **47** geneigt ist, um sich gegen eine geneigte Seitenwand der benachbarten Kassetten-Schwalbenschwanzrippe zu paaren. Jedes hintere Klemmenschlagelement wird in einem jeweils kooperativ konturierten Hohlraum **48** aufgenommen, das in den äußeren Seitenoberflächen des Werkzeugkörpers rückwärts von jeder Kassettenausnehmung ausgebildet ist. Jedes Anschlagelement **46** wird in seinem Hohlraum durch eine Schraube (nicht gezeigt) gehalten, die mit dem Anschlagelement und dem Werkzeugkörper auf die Art und Weise zusammenarbeitet, die zuvor für die vorderen Klemmenschlagelemente beschrieben wurde.

[0044] Das Bohrende **14** des Werkzeugkörpers **11** ist zentral ausgenommen, wie bei **50**. Die Ausnehmung **50** umfasst eine Teilkommunikation mit der benachbarten Kassettenausnehmung **17** und kann während der Bohrverwendung des Werkzeugs **10** erzeugte Metallspäne unterbringen.

[0045] Obwohl Schneideinsätze verschiedenartiger Geometrien in einem Bohrwerkzeug gemäß dieser Erfindung verwendet werden können, ist das Werkzeug **10** angeordnet, um ringförmige runde Einsätze mit einer kreisförmigen zylindrischen äußeren Umfangsoberfläche **52** und flachen parallelen Hauptflächen-Oberflächen, einschließlich einer vorderen Schneid- oder Spanoberfläche **53**, senkrecht zu der entsprechenden Kassettenachse **27** zu verwenden, die als eine Schneiderachse oder als eine sekundäre Achse bezogen auf eine mit der Werkzeugachse **28** kollinearen primären Achse bezeichnet werden kann. Die Schneideinsätze **15** sind derartige Einsätze. Die kreisförmige Linie des Schnittpunkts der Einsatzumfangsoberfläche **52** mit der Schneidoberfläche **53** bildet die Schneidkante **54** des Einsatzes. Der Punkt **55** an der Schneidkante **54**, der den weitesten Abstand von der Werkzeugachse **28** aufweist, ist der idealisierte Schneidpunkt des Einsatzes während des Bohrens, da er der Punkt ist, der den Durchmesser der durch diesen Einsatz gebohrten zylindrischen Oberfläche bestimmt, wenn das Bohrwerkzeug gedreht und axial während des Bohrens vorgerückt wird.

[0046] Die Begriffe „axialer Spanwinkel“ und „radialer Spanwinkel“ wurden verwendet, um bestimmte bedeutsame geometrische Beziehungen in Metallschneidwerkzeugen zu kennzeichnen, die selbstangetriebene Rotations(rotierende)-Schneidereinsätze verwenden. Der axiale Spanwinkel ist negativ, wenn die Schneiderachse im Allgemeinen zu dem Werkstück hin zeigt; im Zusammenhang eines Bohrwerkzeugs bedeutet zu dem Werkstück in die Richtung des axialen Vorrückens des Werkzeugs hin. Der axiale Spanwinkel wird von einem Beobachtungspunkt ausgewertet, der an einer Linie radial von der Werkzeugachse angeordnet ist, wodurch die Wirkungen des radialen Spanwinkels eliminiert werden. Der axiale Spanwinkel wird durch den Winkel gemessen, den die Werkzeugachse mit der Ebene der Schneidfläche an der Position des Schneidpunkts **55** auf der Schneidfläche **54** macht, d.h. durch den in [Fig. 1](#) gezeigten Winkel α , der im Wert der gleiche wie der in [Fig. 3](#) gezeigte Winkel γ ist. Der radiale Spanwinkel wird von einem auf das Bohrende des Werkzeugs blickenden Blickpunkt an der Werkzeugachse ausgewertet, wobei ein derartiger Blickpunkt die Wirkungen des axialen Spanwinkels eliminiert. Der radiale Spanwinkel wird als der eingeschlossene Winkel zwischen einem Radius **56** von der Werkzeugachse durch den Schneidpunkt (als eine Grenze des Winkels) und einer Ebene **57** gemessen, die die Werkzeugachse aufweist und senkrecht (wie vom Blickpunkt des radialen Spanwinkels aus gesehen) zu der Schneidereinsatz-Rotationsachse, d.h. der Schneiderachse (als die andere Grenze des Winkels) ist. Der radiale Spanwinkel ist negativ, wenn der Schneidepunkt in die Richtung der Werkzeugrotation von der Ebene verschoben wird, die senkrecht zu der Schneiderachse ist und die die zweite Grenze des radialen Spanwinkels definiert. Der radiale Spanwinkel β wird in [Fig. 2](#) gezeigt und ist im Werkzeug **10** negativ.

[0047] Wie oben bemerkt, ist ein bedeutender Vorteil von Metallschneidwerkzeugen, die Schneidkanten und Flächen aufweisen, die sich in den Schneidwerkzeugen bewegen, verglichen mit Werkzeugen, bei denen diese Kanten und Flächen in den Werkzeugen stationär sind, eine viel längere nutzbare Lebensdauer unter vergleichbaren Bearbeitungsbedingungen, unter anderem des Metalls, der Tiefe des Schnitts, der Zufuhrrate und der Geschwindigkeit des Werkzeugs in seiner Bewegung bezogen auf das Metall des Werkstücks. Die längere Lebensdauer wird durch die Bewegung der Schneidkanten und Flächen in den Werkzeugen und durch das Kühlen dieser Kanten und Flächen bereitgestellt, wenn sich ihre unterschiedlichen Abschnitte zyklisch aus der und zurück in eine Schneid-Ineingriffnahme mit dem Werkstück bewegen. Damit diese Schneidkanten und Flächen am wirksamsten Metall von dem Werkstück entfernen, sollten sie sich in der korrekten Richtung bezogen auf das Werkstück und mit einer Geschwindigkeit bewegen, die mit häufig konkurrierenden prakti-

schen Betrachtungen konsistent ist; zu langsam erzeugt unnötige Erwärmung und zu schnell stellt andere Probleme dar. Somit wurde seit langem erkannt, dass die optimale Auslegung von Bearbeitungswerkzeugen, die selbstangetriebene Rotationsschneiderinsätze aufweisen, viele Variablen beinhalten, die sich aufeinander in schlecht verstandenen komplexen Wegen beziehen. Wenn eine optimale geometrisch bestimmte Auslegung erzielt werden kann, kann es unmöglich sein, diese Auslegung in einem Schneidwerkzeug geeigneter Größe zu verkörpern, bei dem das Werkzeug und seine Komponenten ausreichende Strukturfestigkeit aufweisen, um eine annehmbare Zeit unter tatsächlichen Bedingungen der Bearbeitung standzuhalten (d.h. zusammen zu bleiben). Als eine Folge dieser vielen konkurrierenden Faktoren ist die Auslegung eines handelsüblichen annehmbaren Rotationseinsatzmetall-Schneidwerkzeugs eine Übung in Kompromissen, die auf der Grundlage praktischer Erfahrung durchgeführt wird.

[0048] Es ist bekannt, dass Schneideinsatzrotation durch die Reibung zwischen dem Einsatz und den bei dem Bearbeitungsprozess erzeugten Späne erzeugt wird, wenn die Späne über die Schneidoberfläche des Einsatzes fließen. Diese Rotation wird in jeder einzelnen Bearbeitungssituation durch den axialen Spanwinkel und den radialen Spanwinkel des Einsatzes beeinflusst. Wenn Metallschneiden auftritt, werden drei orthogonal zusammenhängende Schneidkräfte erzeugt. Im Zusammenhang eines Bohrwerkzeugs, wie beispielsweise des Werkzeugs **10**, können die an einen Einsatz angelegten Schneidkräfte idealisiert werden, als ob sie an seinem Schneidpunkt angelegt werden. Diese Kräfte sind eine axiale Kraft, die auf den Einsatz in einer Richtung parallel zu der Werkzeugachse (z.B. der Achse **28**) wirkt, eine radiale Kraft, die auf den Einsatz in einer Richtung wirkt, die mit einem Radius des Werkzeugs koinzidiert, und eine tangentiale Kraft, die senkrecht zu sowohl den radialen als auch den axialen Kräften an dem Einsatzschneidpunkt ist. Diese Kräfte müssen in der physikalischen Struktur des Werkzeugs aufgenommen werden und zu einem Drehmoment führen, das an dem Einsatz in der gewünschten Richtung (d.h. in der Richtung, in die sich der Einsatz um seine Achse zu drehen hat) und mit der gewünschten Größe angelegt wird. Die Größe des Drehmoment des Einsatzes ist für die Fähigkeit des Einsatzes bedeutsam, die in seinen Montagelagern inhärente Reibung zu überwinden und sich mit der gewünschten Rate zu drehen.

[0049] Das an einen selbstangetriebenen Rotationsschneidereinsatz angelegte Drehmoment ist eine Funktion eines komplexen Satzes von Variablen, die den axialen Einsatzspanwinkel, den radialen Spanwinkel, die Winkelgeschwindigkeit des Bohrwerkzeugs (d.h. seine Umdrehungen je Minute), den Radius des Bohrwerkzeugs an dem Einsatzschneid-

punkt, den Radius des Schneideinsatzes, den Reibungskoeffizienten zwischen der Einsatzschneidfläche und den Spänen, die er während des Bohrens erzeugt, die Tiefe des durch den Einsatz gemachten Schnitts und die axiale Zufuhrrate des Bohrwerkzeugs umfassen. Weitere Faktoren, die relevant sind, sind die axialen, radialen und tangentialen Kräfte, die an den Einsatz an seinem Schneidpunkt angelegt werden. Diese Kräfte beziehen sich nicht nur auf die Einsatzspanwinkel sondern ebenfalls auf die Eigenschaften des zu bohrenden Metalls; ein Bohrwerkzeug, das gut arbeitet, um kompaktiertes Graphiteisen zu schneiden, kann schlecht oder überhaupt nicht arbeiten, wenn es verwendet wird, um Aluminium zu schneiden, und umgekehrt. Werkstückmaterial-eigenschaften, die für den Bearbeitungsprozess bedeutsam sind, umfassen Zugfestigkeit, Scherfestigkeit, Härte, Schmiedbarkeit und Verformbarkeit.

[0050] Beim Stand der Technik wurde nahe gelegt, dass ein Erhöhen des radialen Spanwinkels eines Rotationsschneideinsatzes im Allgemeinen die Geschwindigkeit des Einsatzes um seine Rotationsachse und die Wärmedissipation des Einsatzes erhöhen wird. Obwohl dieser Hinweis im Zusammenhang von Frä- und Drehbearbeitungsvorgängen gültig sein kann, ist er im Zusammenhang mit Bohrvorgängen nicht zutreffend. Unter anderem ist die Position des Einsatzschneidpunktes bezogen auf den Werkzeugkörper unterschiedlich, so wie es die Art und Weise der auf den Einsatz wirkenden Schneidkräfte sind; es wurde empirisch herausgefunden, dass in bestimmten Fällen das Erhöhen des radialen Spanwinkels beim Bohren bewirken kann, dass der Einsatz sich nicht dreht oder die Rotationsrichtung umkehrt. Es wurde entdeckt, dass beim Bohren und möglicherweise in anderen Zusammenhängen sowohl die axialen als auch radialen Spanwinkel die Einsatzrotation beeinflussen, und dass im Allgemeinen der axiale Spanwinkel etwa zweimal so bedeutend wie der radiale Spanwinkel ist. Das Ändern des axialen Spanwinkels um 5 Grad hat die zweifache Wirkung auf die Winkelgeschwindigkeit und Drehmomenterzeugung des Einsatzes, wie es eine Änderung um 5 Grad in dem radialen Spanwinkel tut.

[0051] Obwohl es den Anschein haben kann, dass eine arbeitsfähige Rotationseinsatzbohrwerkzeug-Auslegung das erzeugte Drehmoment maximieren würde, können ernste praktische Schwierigkeiten auftreten, indem dies getan wird. Wenn das Drehmoment erhöht wird, so werden einige der Reaktionskräfte auf die Lager erhöht, die den Einsatz in dem Werkzeugkörper anbringen, wodurch die Werkzeuglebensdauer verringert wird. Praktische Beschränkungen, die in dem Werkzeugkörper entstehen, müssen ebenfalls berücksichtigt werden. Dünne Querschnitte in der Werkzeugkörperstruktur sind zu vermeiden, da sie die Fähigkeit begrenzen können, eine Einsatzkassette in dem Werkzeugkörper sicher

zu klemmen und hohe Stressbereiche in dem Körper erzeugen werden. Diese beiden Situationen werden die Stabilität des Werkzeugs und den Bohrprozess selber beeinflussen.

[0052] Das Werkzeug **10**, das oben beschrieben und in den begleitenden Zeichnungen gezeigt ist, ist für die Bearbeitung einer Bohrung in kompaktiertem Graphiteisen ausgelegt. Das Werkzeug ist zum Erzeugen einer Bohrung mit einem Durchmesser von 3,13 Zoll(79,5 mm) und weist einen Radius an seinen Einsatzschneidpunkten von einer Hälfte dieser Abmessung auf, d.h. die Einsätze werden keine radiale Staffelung aufweisen, wenn sie in dem Werkzeugkörper angebracht sind. Die Einsätze des Werkzeugs **10** weisen ebenfalls keine axiale Staffelung auf, wenn sie in dem Werkzeug angebracht sind; d.h., die Kontaktpunkte aller Einsätze liegen in einer Ebene, die senkrecht zu der Werkzeugachse **28** ist. Der Durchmesser der Schneidereinsätze beträgt 1,062 Zoll (26,97 mm). Die Auslegungsspindelgeschwindigkeit beträgt 3200 UpM, die eine Schneidgeschwindigkeit von 2641 SFM (Fuß/min) (805 m/min) erzeugt. Die Auslegungstiefe des Schnitts beträgt 0,0157 Zoll(0,04 mm). Die Auslegungszufuhrrate beträgt 0,006 Zoll/Zahn (0,15 mm/Zahn). Ein Zahn ist eine Schneidkante in dem Werkzeug. Die Zufuhrrate je Zahn ist die Gesamtwerkzeug-Vorschubrate je Umdrehung geteilt durch die Anzahl von Schneidkanten in dem Werkzeug. Jeder Einsatz des Werkzeugs **10** definiert eine Schneidkante.

[0053] Die graphischen Darstellungen von [Fig. 11](#) bis [Fig. 15](#) beschreiben jeweils die Beziehungen zwischen drei Variablen, die für die Auslegung des Werkzeugs **10** relevant sind. In jedem Fall sind die simultanen Variablen der Schneidgeschwindigkeit, der Tiefe des Schnitts und der Zufuhrrate bei dem oben angegebenen Werten konstant. [Fig. 11](#) beschreibt die Beziehung zwischen der tangentialen Schneidkraft (Ordinate) in Pfund und dem axialen Spanwinkel α (Abszisse) für unterschiedliche Werte von radialen Spanwinkeln in dem Bereich von $\beta = 0^\circ$ bis $\beta = -20^\circ$ in 1° -Inkrementen. [Fig. 12](#) beschreibt die Beziehung zwischen der radialen Schneidkraft (Ordinate) in Pfund und den axialen (Abszisse) und radialen (Konturen) Spanwinkeln durch die gleichen Bereiche (und die gleichen Inkremente) dieser Winkel. [Fig. 13](#) beschreibt die Beziehung zwischen der axialen Schneidkraft (Ordinate) in Pfund und den axialen (Abszisse) und radialen (Konturen) Spanwinkeln durch den gleichen Bereich von radialen Spanwinkeln. [Fig. 14](#) beschreibt die Beziehung zwischen dem Einsatzdrehmoment (Ordinate) in Pfund-Zoll über den gleichen Bereich (und Inkrementbetrag) von axialen (Abszisse) und radialen (Konturen) Spanwinkeln. [Fig. 15](#) beschreibt die Beziehung zwischen der Einsatzgeschwindigkeit (UpM) über den gleichen Bereich (und Inkrementbetrag) von axialen (Abszisse) und radialen (Konturen) Spanwinkeln.

Das zu bohrende Material ist kompaktiertes Graphiteisen. Durch Verwenden der Daten in [Fig. 11](#) bis [Fig. 15](#) und durch Auswertung von Lagerkräften und durch Auswertung von Werkzeugstrukturbeschränkungen durch die Verwendung von Finite-Elemente-Analyse, wurde ein axialer Spanwinkel von -15 Grad und ein radialer Spanwinkel von $-7,5$ Grad ermittelt. Die Ermittlung dieser Winkel umfasst die Bestimmung der Spanwinkelkombination, um das Einsatzdrehmoment zu maximieren, die Analyse der drei Schneidkräfte für die Winkelkombination und die Verifizierung, dass der Werkzeugkörper und die Einsatzhalterungsbeschränkungen respektiert wurden. Ein Fachmann wird erkennen, dass, obwohl diese Prozesse in der Natur interaktiv sind, sie nicht lästig sind und mit Kenntnis der in [Fig. 11](#) bis [17](#) beschriebenen Beziehungen ohne weiteres zu einer durchführbaren, baubaren und soliden Bohrwerkzeugauslegung führen.

[0054] Ein Kraftsimulationsmodell kann verwendet werden, um die Spanwinkel für die Schneidereinsätze zu bestimmen. Das Modell kann die Schneidkräfte, das Einsatzdrehmoment und die Einsatzrotationsgeschwindigkeit mit Bezug auf die Spanwinkel erzeugen. [Fig. 11](#) bis [Fig. 15](#) wurden durch die Verwendung eines derartigen Kraftsimulationsmodells erhalten und veranschaulichen Tendenzen. Es sei bemerkt, dass nicht alle Beziehungen zwischen diesen Variablen linear sind.

[0055] Ein Fachmann wird ebenfalls ohne weiteres erkennen, dass Bohrwerkzeuge zur Verwendung sowohl mit anderen Werkstückmaterialien als auch anderen Betriebsbedingungen konsistent mit den vorhergehenden Beschreibungen definiert werden können. Er wird ohne weiteres erkennen, dass Bohrwerkzeugstrukturanordnungen angenommen werden können, die von den beschriebenen und gezeigten unterschiedlich sind. Beispielsweise ist die Gleichheit des Winkels γ in

[0056] [Fig. 3](#) mit dem Winkel α in [Fig. 1](#) (axialer Spanwinkel) eine Folge, dass die Ebene der Schwabenschwanzverbindungen [22](#), [23](#) parallel zu der Werkzeugachse [28](#) angeordnet ist, und dass unterschiedliche Schwabenschwanzebenen-Beziehungen mit der Werkzeugachse zu unterschiedlichen Werten von γ für den gleichen Wert von α führen werden, und dass mit Bezug auf [Fig. 4](#) sogar eine nicht normale (von der Senkrechten verschiedene) Beziehung der Kassettenfachachse [27](#) mit der Schwabenschwanzebene möglich ist. Außerdem können von Schwabenschwanzverbindungen unterschiedliche Verbindungen verwendet werden, um eine Schneideinsatz-Halterungskassette mit dem Werkzeugkörper zu verbinden. Die Halterung eines Scheideinsatzes an einem Bohrwerkzeugkörper kann direkter, jedoch möglicherweise weniger zweckmäßig, durch die Verwendung einer Kassette durch-

geführt werden; die Achse, um die sich ein Einsatz bei der Verwendung dreht, kann fest definiert sein oder von dem Werkzeugkörper getragen werden, und ein Schneideinsatz kann abnehmbar an dieser Achse mit geeigneten Lagern angebracht sein.

[0057] Ebenfalls kann angesichts der oben dargelegten Information ein Fachmann, insbesondere einer mit Erfahrung in der Auslegung und dem Betrieb von Transferstraßen, Spindel-zu-Werkzeug-Paarungs- und Montageanordnungen sowie der Bearbeitung von Metallen mit unterschiedlichen Eigenschaften erkennen, dass ein Bohrwerkzeug gemäß dieser Erfindung Einsätze aufweisen kann, die, wenn sie in dem Werkzeug angebracht sind, entweder axiale oder radiale Staffelungen oder beide von ihren Kontaktpunkten aufweisen werden. Ein Werkzeug mit axialer Staffelung ist eines, bei dem die Schneideinsatzkontakte durch kleine Abstände getrennt sind, die entlang der Werkzeugachse [28](#) gemessen werden. Ein Werkzeug mit radialer Staffelung ist eines, bei dem die Schneideinsatzkontakte unterschiedliche radiale Abstände von der Werkzeugachse [28](#) aufweisen. Die radiale und/oder axiale Staffelung kann verwendet werden, um das Laden des Werkzeugs an seiner Montagespindel (und das Laden der Spindel auf seinen Lagern und Halterungen) verwendet werden, um die Sicherheit und Koaxialität der Verbindung des Werkzeugs mit seiner Antriebsspindel zu gewährleisten oder zu verbessern, um Werkzeugrattern beispielsweise während des Bohrens zu verringern.

[0058] Ein Bohrwerkzeug, bei dem es keine axiale oder radiale Staffelung der Schneidereinsätze bezogen auf die Gesamtwerkzeugachse gibt, ist ein Werkzeug, von dem sagt, dass es symmetrisch ist. Bei einer früheren Prüfung eines symmetrischen Prototyps des Werkzeugs [10](#), wie oben beschrieben, wurde herausgefunden, dass die Spindellager sehr abgenutzt und lose waren. Diese Prüfung wurde an der Bohrstation einer Transferstraße zur Bearbeitung von Kraftfahrzeugmotorblöcken durchgeführt; wobei die Spindelachse an dieser Bohrstation im Wesentlichen horizontal war. Die Spindel war ausgelegt, um Werkzeuge anzunehmen, die Montageschäfte aufweisen, die den Kriterien und der Geometrie gemäß ABS [80](#) entsprechen. Der Schaft des Werkzeugs war bei dieser Konfiguration nicht ausreichend starr, und so verhielt sich Werkzeug, als ob es Spiel in seiner Verbindung mit der Spindel gab, und das Werkzeug arbeitete nicht gut. Das Werkzeug wurde durch Einstellung der Positionierung der Schneidereinsätze in dem Werkzeug modifiziert, um eine radiale Staffelung von $1,27$ mm (0,050 Zoll) und eine axiale Staffelung von $0,508$ mm (0,020 Zoll) der Einsätze in dem Werkzeugkörper zu erzeugen; wobei die Staffelung zwischen benachbarten Einsätzen gemessen wird. Diese Modifikation bewirkte, dass jeder der Einsätze während des Bohrens stärker belastet wurde; diese

erhöhten Einsatzbelastungen bewirkten, dass das Werkzeug schwerer angemessen beladen wurde, um Werkzeugrattern in dem Werkstückblockguss ausreichend zu verringern, so dass der Nutzen und die Betriebsfähigkeit der Erfindung bestätigt wurde. Diese Prüfung ermittelte ebenfalls, dass die linearen (nicht verjüngten) Werkzeugschaft-Auslegungskriterien gemäß ABS 80 verglichen mit den verjüngten Werkzeugschaft-Auslegungskriterien gemäß 1ISO-50 und HSK-100 schwach sind, die ebenfalls bekannt sind und bei Transferstrassen und Bearbeitungszentren verwendet werden. Werkzeuge mit Schäften, die den HSK-100-Auslegungskriterien entsprechen, werden gegenwärtig bevorzugt.

[0059] Wenn ein Werkzeug mit einer ABS-80-Schaftkonfiguration zu verwenden ist, wurde herausgefunden, dass das Werkzeug am besten verwendet wird, wenn seine Hauptachse 28 senkrecht oder im Wesentlichen senkrecht angeordnet ist.

[0060] Weitere Prüfungen mit anderen Prototyp-Bohrwerkzeugen gemäß dieser Erfindung zeigten bedeutende Verbesserungen in der Fähigkeit, Zylinder in Motorblöcke aus CGI und grauem Eisen zu bohren. Ein Werkzeug mit drei axial und radial gestaffelten selbstangetriebenen Rotationsschneidereinsätzen wies einen effektiven Durchmesser von 3,139 Zoll (79,73 mm) an seinem niedrigsten und innersten Einsatz, einen effektiven Durchmesser von 3,219 Zoll (81,76 mm) an seinem axialen Zwischeneinsatz und einen effektiven Durchmesser von 3,299 Zoll (83,8 mm) an seinem oberen und äußersten Einsatz auf, d.h. eine gleichmäßig radiale Staffelung von 0,040 Zoll (1 mm); wobei die axiale Staffelung gleichmäßig bei 0,100 Zoll (2,54 mm) war. Dieses Werkzeug war im Stande, das CGI-Zylindermaterial in 3,4 Sekunden verglichen mit 25 Sekunden mit herkömmlichen Bohrwerkzeugen zu bohren, und die gebohrte Zylinderlinearität war genauer und die Bohrlochoberflächenendbearbeitung von einer höheren Qualität. Diese Ergebnisse wurden mit Werkzeugen erreicht, die Schaftkonfigurationen gemäß 1S0-50 und HSK-100 aufweisen.

[0061] Die in dem vorhergehenden Paragraph beschriebenen Prüfungen wurden mit Motorblockgussteilen durchgeführt, in denen ein Kühlmitteldurchgang in den Gussteilen an einer Zwischenposition entlang der Länge jeder Zylinderbohrung vorhanden war. Wenn ein derartiges Gussteil mit herkömmlichen Bohrwerkzeugen gebohrt wurde, bogen sich die Zylinderwände in dem Bereich des Kühl durchgangs als Reaktion auf Bohrwerkzeuglasten nach außen und schnellten dann zurück, wenn diese Lasten nicht vorhanden waren. Das Ergebnis war eine gebohrte Oberfläche, die zentral einen kleineren Durchmesser als an ihren Enden, d.h. ein Sanduhreffekt aufwies. Die durch die Verwendung der Bohrwerkzeuge dieser Erfindung erzeugten gebohrten Oberflächen

zeigten einen wesentlich verringerten Sanduhreffekt.

[0062] Es wurde durch die oben beschriebenen und weitere Prüfungen herausgefunden, dass Zylinderbohrvorgänge in Kraftfahrzeugmotorblöcken aus CGI und grauem Eisen, die früher bei zwei Bohrstationen an einer Transferstraße durchgeführt wurden, an einer Station mit Bohrwerkzeugen gemäß dieser Erfindung durchgeführt werden können. Es wurde ebenfalls herausgefunden, dass die durch ein Bohrwerkzeug gemäß dieser Erfindung zurückgelassene gebohrte Oberfläche von so einer hohen Qualität sein kann, um die Ergebnisse zu verbessern, die bei einer anschließenden Honstation in einer Kraftfahrzeugmotorblock-Verarbeitungstransferstraße erhalten werden.

[0063] Wenn eine axiale Staffelung von Schneidereinsätzen in einem Bohrwerkzeug gemäß dieser Erfindung gewünscht ist, sollte die Gesamtstaffelung (Abstand entlang der Werkzeugachse zwischen den Kontaktpunkten der untersten und obersten Einsätze) definiert sein, um sicherzustellen, dass der unterste Einsatz keinen unerwünschten Kontakt mit Abschnitten des Werkstückes unter der Bohrposition macht, bevor der oberste Einsatz das Ende der Bohrstelle erreicht.

[0064] Ein Schneidereinsatz kann eine Geometrie aufweisen, die sich von der bevorzugten Geometrie von Einsätzen 15 in einem Bohrwerkzeug gemäß dieser Erfindung unterscheidet. Die periphere Oberfläche des Einsatzes und seine Schneidfläche können anders als kreisförmig zylindrisch bzw. flach sein, wie es zweckmäßig oder gewünscht ist. Ein Bohrwerkzeug kann die Form einer Bohrstange aufweisen, bei der ein Schneideinsatz zur Einstellung der Position seiner Rotationsachse angebracht ist, sodass die axialen und radialen Spanwinkel des Einsatzes und der effektive Radius der Stange an dem Einsatzschneidpunkt für unterschiedliche Bohrdurchmesser oder Werkstückmaterialien verändert werden kann. Bohrwerkzeuge mit Einstellbarkeit der Einsatzposition, um sowohl eine axiale als auch eine radiale Staffelung der Einsatzte zu erhalten, werden ebenfalls von dieser Erfindung umfasst. Es ist vorzuziehen, jedoch nicht erforderlich, dass alle Einsatzte und Einsatzkassettenstrukturen in einem gegebenen Bohrwerkzeug hinsichtlich der Austauschbarkeit und Ersetzbarkeit gleich sind.

[0065] Ein Fachmann wird ebenfalls erkennen, dass die vorhergehende Beschreibung und die begleitenden Zeichnungen am direktesten Bohrwerkzeuge betreffen, die die gegenwärtig bevorzugten Ausführungsformen dieser Erfindung bilden. Dieser Fachmann wird erkennen, dass die Beschreibung und die Zeichnungen kein erschöpfer Katalog aller Formen und Weisen sind, durch die Strukturen und Prozeduren dieser Erfindung verkörpert sein können,

und dass Variationen von und Änderungen in diesen Strukturen und Prozeduren ohne Abweichung von dem Schutzmfang dieser Erfindung, wie durch die folgenden Ansprüche definiert, praktiziert werden können.

Patentansprüche

1. Aufbohrwerkzeug (10) mit einem Körper (11), der während des Bohrens um eine primäre Achse (28) drehbar und entlang dieser vorschreibbar ist, und der ein rundes drehendes Schneidelement (15) trägt, das an dem Körper (11) zur Drehung um eine sekundäre Achse (27), die relativ zu der primären Achse (28) befestigt ist, angebracht ist, wobei das Schneidelement (15) eine kreisförmige Schneidkante (54) aufweist, die eine Schneidoberfläche (53) des Elements begrenzt, die im allgemeinen in der Richtung zu dem Bohrvorschub liegt, wobei die Beziehung der primären und sekundären Achsen definiert wird, so dass an einer Schneidstelle an dem Element (15), das an dem Platz des maximalen Abstands der Schneidkante radial von der primären Achse lokalisiert ist, die Schneidoberfläche (53) relativ zu der primären Achse radiale und axiale Spanwinkel aufweist, die in Koordinierung miteinander definiert sind, um die Drehung des Elements (15) während des Bohrvorgangs des Werkzeugs in einer ausgewählten Richtung um die sekundäre Achse (27) sicherzustellen.

2. Aufbohrwerkzeug gemäß Anspruch 1, bei dem das Schneidelement eine flache Schneidoberfläche (53) und eine Umfangsoberfläche (52) aufweist, die zylindrisch ist.

3. Aufbohrwerkzeug gemäß Anspruch 1, bei dem die radialen und axialen Spanwinkel negativ sind.

4. Aufbohrwerkzeug gemäß Anspruch 3, bei dem der axiale Spanwinkel etwa zweimal negativer als der radiale Spanwinkel ist.

5. Aufbohrwerkzeug gemäß Anspruch 1, bei dem das Schneidelement (15) drehbar in einer Halterung (16) getragen wird, die lösbar mit dem Werkzeugkörper (11) an einer spezifizierten Position und in einer spezifizierten Beziehung relativ zu dem Werkzeugkörper (11) verbunden ist.

6. Aufbohrwerkzeug gemäß Anspruch 5, bei dem die radialen und axialen Spanwinkel negativ sind und der axiale Spanwinkel etwa zweimal negativer als der radiale Spanwinkel ist.

7. Aufbohrwerkzeug gemäß Anspruch 5, das Klemm-Mittel (33) aufweist, dies zwischen dem Werkzeugkörper (11) und der Halterung (16) zum Befestigen der Halterung (16) und in der spezifizierten Position und Beziehung zusammenarbeiten.

8. Aufbohrwerkzeug gemäß Anspruch 7, bei dem die Halterung (16) einen Schaft definiert, um den das Schneidelement (15) drehbar ist, und das Klemmmittel (33) mit einem Ende des Schafts (24) nahe dem Schneidelement (15) zusammenarbeitet.

9. Aufbohrwerkzeug gemäß Anspruch 5 mit einer Schwalbenschwanzverbindung (22, 23) der Halterung (16) an dem Werkzeugkörper (11).

10. Aufbohrwerkzeug gemäß Anspruch 9, bei dem die Mittellinie der Schwalbenschwanzverbindungsmerkmale der Halterung (16) seitlich von der durch die Halterung (16) definierten Achse des Schafts (24) versetzt ist.

11. Aufbohrwerkzeug gemäß Anspruch 10, bei dem die Richtung des Versatzes der Schwalbenschwanzverbindungsmerkmale von der Achse des Halterungsschafts (24) eine Richtung ist, die den Halterungsschaft (24) nach außen von der Schwalbenschwanzverbindung bei Verbindung der Halterung mit dem Werkzeugkörper platziert.

12. Aufbohrwerkzeug gemäß Anspruch 9, bei dem der Werkzeugkörper (11) ein Positionierelement (43) umfasst, das den Schwalbenschwanzverbindungsmerkmalen der Halterung des Werkzeugkörpers (11) an einer Stelle zugeordnet ist, die die Bewegung der Halterung entlang dieser Schwalbenschwanzverbindung einschränkt.

13. Aufbohrwerkzeug gemäß Anspruch 12, bei dem die Schwalbenschwanzverbindungsmerkmale des Werkzeugkörpers eine Schwalbenschwanzrille definieren und das Positionierelement einen Stift (43) umfasst, der sich von dem Körper in die Rille erstreckt.

14. Aufbohrwerkzeug gemäß Anspruch 9, bei dem die Schwalbenschwanzverbindung (22, 23) im Wesentlichen parallel zu der primären Achse (28) des Werkzeugkörpers (11) definiert ist.

15. Aufbohrwerkzeug gemäß Anspruch 1, das eine Mehrzahl von runden drehenden Scheidelementen (15) trägt, die jeweils an dem Körper zur Drehung um eine jeweilige sekundäre Achse (27) angebracht sind, die relativ zu einer primären Achse (28) festgelegt ist.

16. Aufbohrwerkzeug gemäß Anspruch 1, bei dem die Stellen der Schneidstellen an den verschiedenen Schneidelementen (15) in dem Werkzeug verschieden von einer gemeinsamen Stelle entlang der primären Achse (28) und an einem gemeinsamen Radius von der primären Achse (28) sind.

17. Aufbohrwerkzeug gemäß Anspruch 16, bei dem die Schneidstellen an den verschiedenen

Schneidelementen (15) in dem Werkzeug verschieden von einer gemeinsamen Stelle entlang der primären Achse (28) und ebenfalls verschieden von einem gemeinsamen Radius von der primären Achse (28) lokalisiert sind.

18. Aufbohrwerkzeug gemäß Anspruch 16, bei dem die Schneidstellen an den verschiedenen Schneidelementen (15) jeweilige getrennte Stellen entlang der primären Achse (28) aufweisen.

19. Aufbohrwerkzeug gemäß Anspruch 16, bei dem die Beabstandung entlang der primären Achse (28) zwischen benachbarten Elementschneidstellen im Wesentlichen gleichmäßig ist.

20. Aufbohrwerkzeug gemäß Anspruch 16, bei dem die Schneidstellen an den verschiedenen Schneidelementen (15) jeweilige getrennte radiale Abstände von der primären Achse (28) aufweisen.

21. Aufbohrwerkzeug gemäß Anspruch 16, bei dem die radiale Beabstandung von der primären Achse (28) zwischen benachbarten Element-Schneidstellen im Wesentlichen gleichmäßig ist.

22. Aufbohrwerkzeug gemäß Anspruch 15, bei dem die Schneidstellen an den verschiedenen Elementen (15) in mindestens einer der folgenden Weisen relativ zueinander versetzt sind: axial entlang der primären Achse (28) und radial von der primären Achse (28).

23. Aufbohrwerkzeug gemäß Anspruch 15, bei dem die Schneidstellen an den verschiedenen Elementen (15) die gleiche Beabstandung radial von der primären Achse (28) aufweisen und in einer gemeinsamen Ebene senkrecht zu der der primären Achse (28) lokalisiert sind.

24. Verfahren für die Bearbeitung einer Bohrung eines spezifizierte Durchmessers in einem Werkstück eines spezifizierten Materials mit einem selbst-angetriebenen drehenden Schneiderelement (15), umfassend die Schritte eines Definierens mit Bezug auf die Eigenschaften des Werkstückmaterials ersten Betriebswerte für die Elementgeschwindigkeit, Tiefe des Schnitts und axiale Zufuhrrate; Festlegen für diese ersten Betriebswerte die Beziehungen von axialen und radialen Spanwinkel des Schneiderelements zu den tangentialen, radialen und axialen Schneidkräften sowie Winkelgeschwindigkeit und Drehmoment des Schneiderelements (15); Identifizieren von Schneiderelement-Spanwinkel für maximales Drehmoment in einer gewünschten Richtung um eine Drehachse des Schneiderelements; Festlegen von Lagerkräften des Schneiderelements (15) an den identifizierten Spanwinkel; Bereitstellen eines drehbaren Aufbohrwerkzeugs (10), das ein drehendes Schneiderelement (15) trägt, das einer Schneidstelle

aufweist, die um die Hälfte des spezifizierten Bohrungsdurchmessers radial von der Drehachse des Werkzeugs beabstandet ist und an der Schneidstelle die identifizierten axialen und radialen Spanwinkel aufweist; und Betreiben des Werkzeugs (10) mit einer Winkelgeschwindigkeit, die für die definierte Schnidgeschwindigkeit produktiv ist, und bei der definierten axialen Zufuhrrate, um die Bohrung in einem Werkstück dieses spezifizierten Materials zu bearbeiten.

25. Verfahren gemäß Anspruch 24, bei dem das spezifizierte Material kompaktiertes Graphiteisen ist und die axialen und radialen Spanwinkel negativ sind.

26. Verfahren gemäß Anspruch 25, bei dem der axiale Spanwinkel etwa zweimal negativer als der radiale Spanwinkel ist.

27. Verfahren gemäß Anspruch 24, wobei die Bereitstellung des Werkzeugs (10) den weiteren Schritt umfasst, die konstruktive Zweckdienlichkeit eines Werkzeugkörpers (10) mit einem Schneidelement einer spezifizierten Größe bei den identifizierten Spanwinkel zu bestätigen.

28. Verfahren gemäß Anspruch 24 einschließlich der Entwicklung eines Kraftsimulationsmodells und die Anwendung dieses Modells, um die Spanwinkel des Schneiderelements (15) zu identifizieren.

Es folgen 11 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

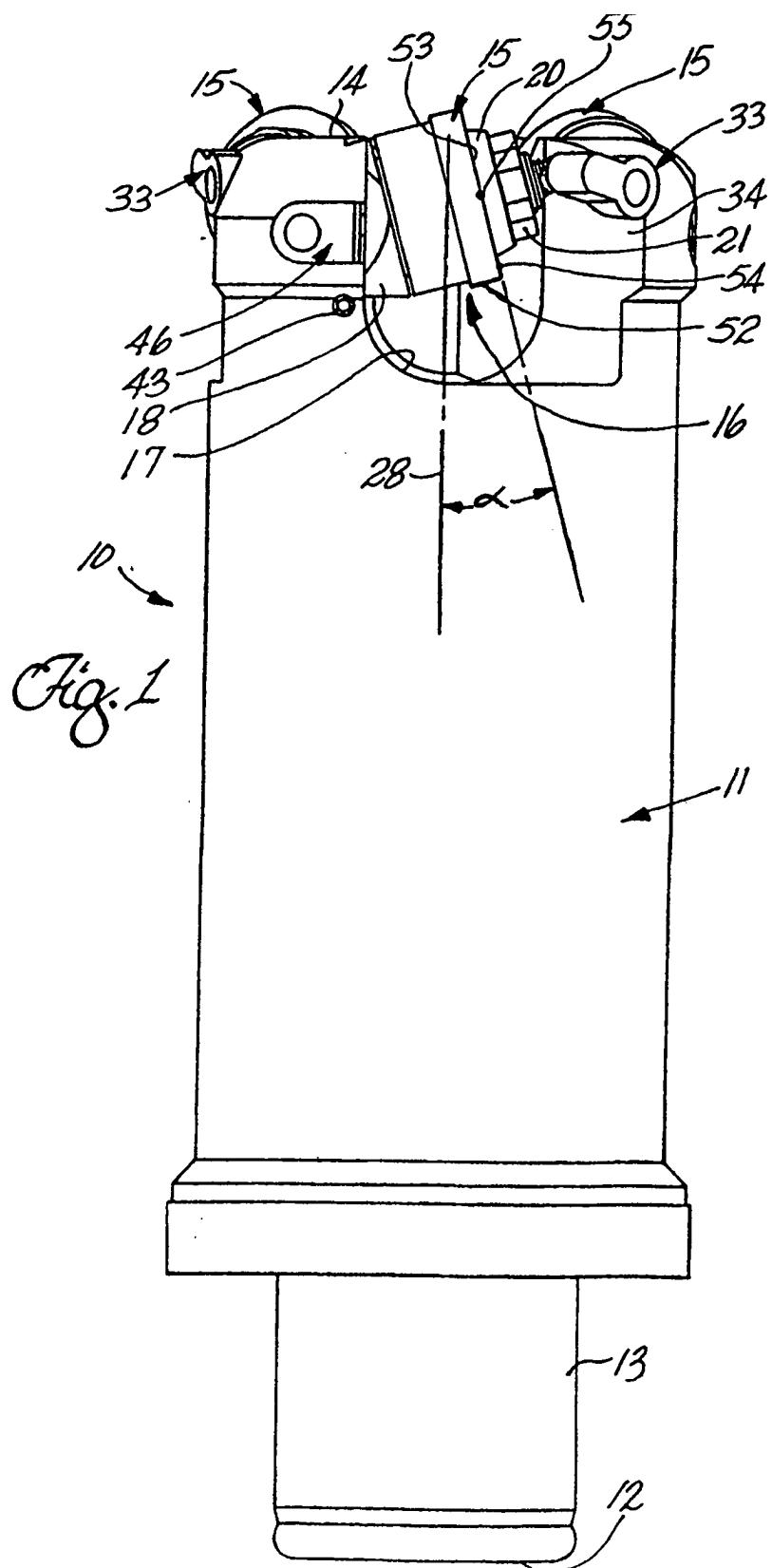
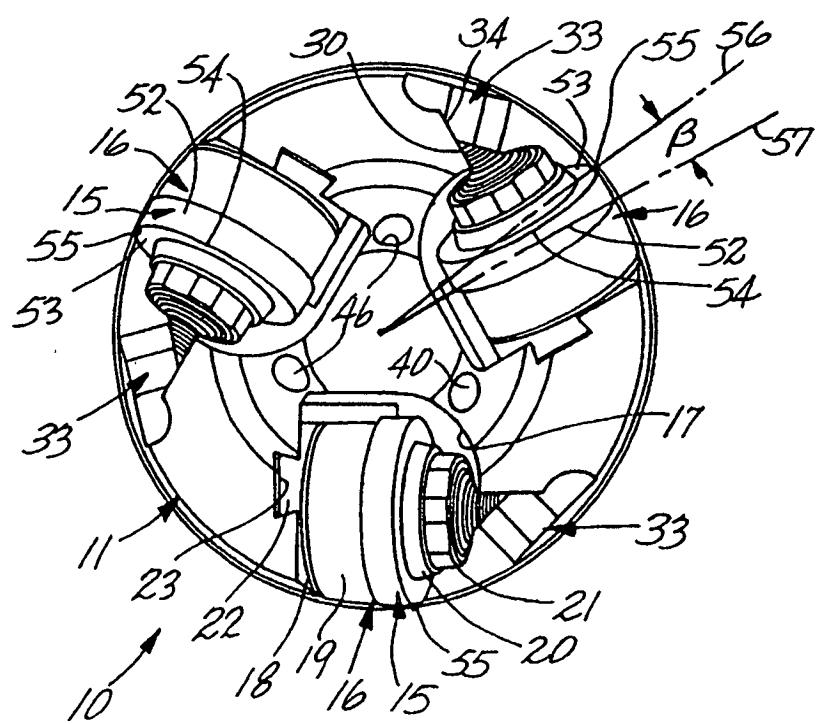


Fig. 2



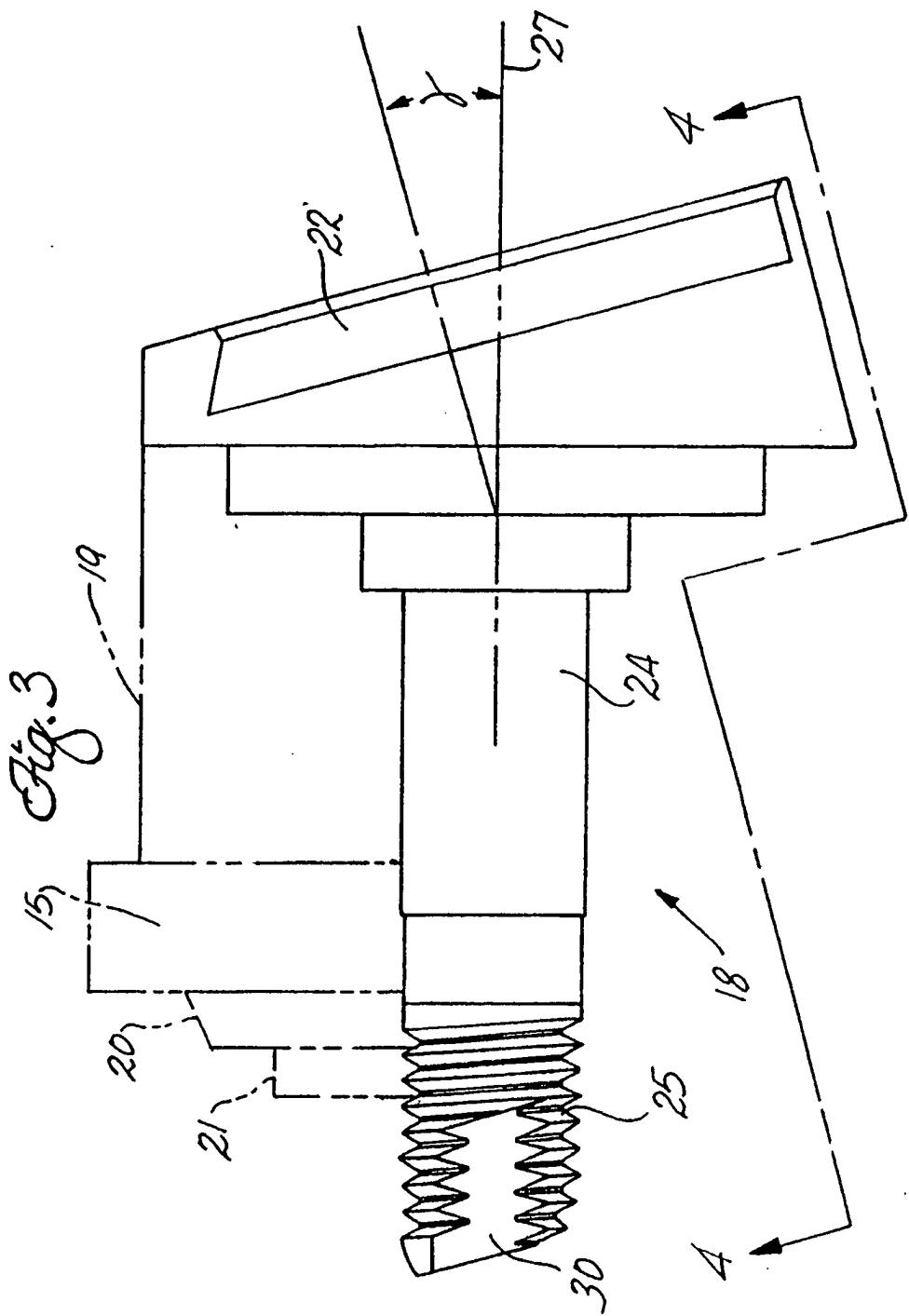
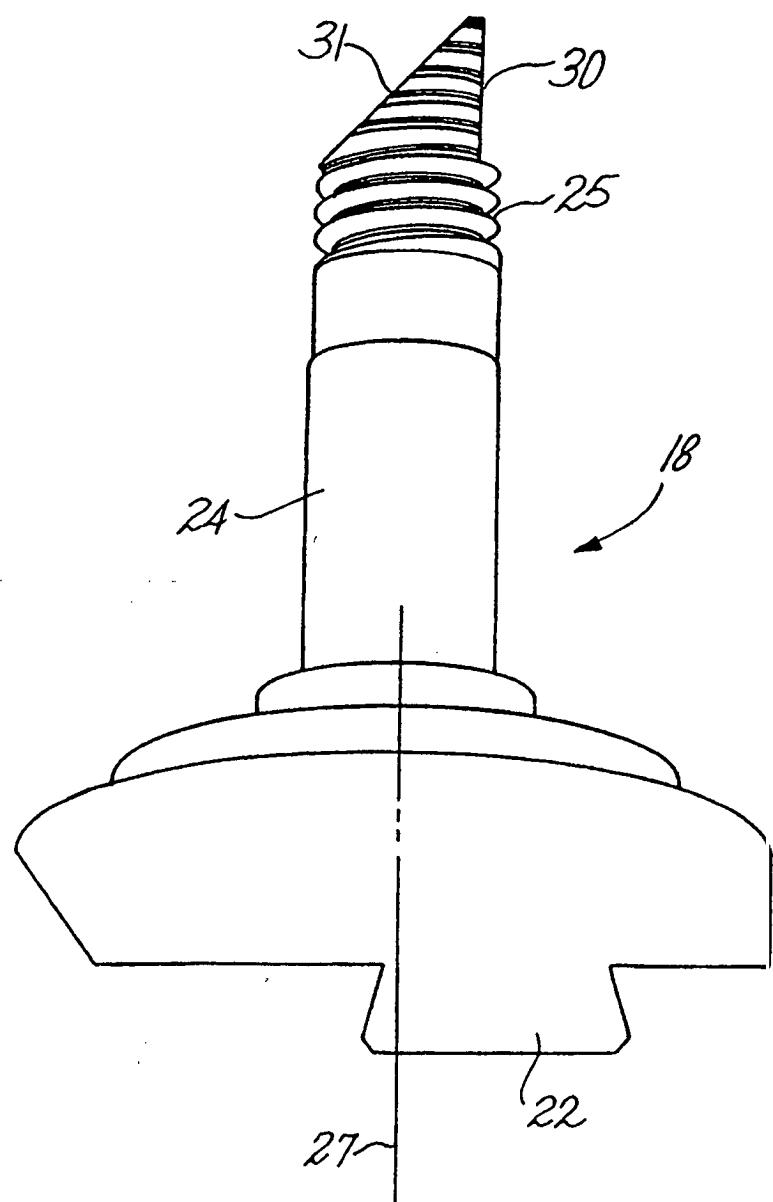
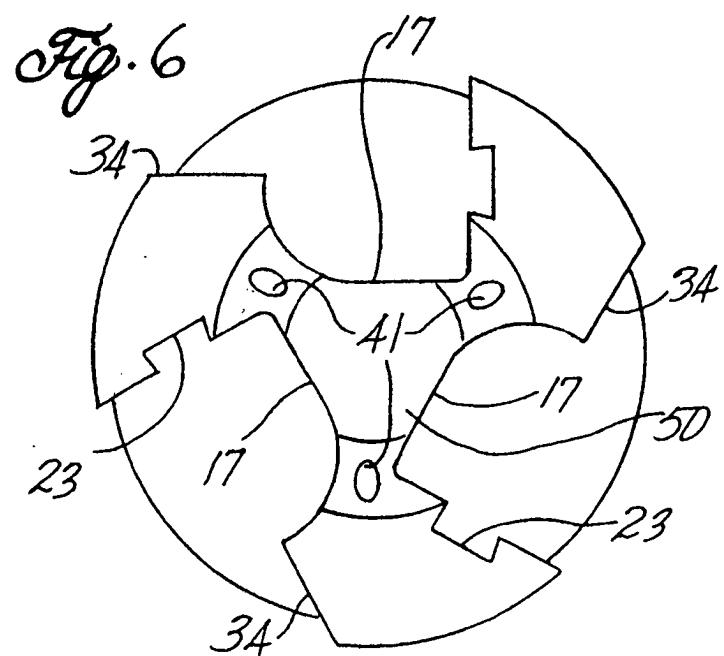
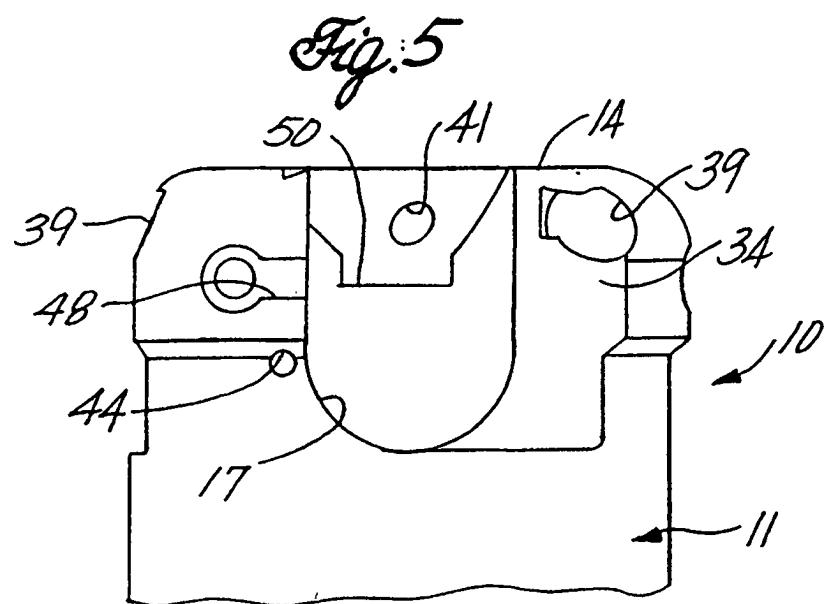
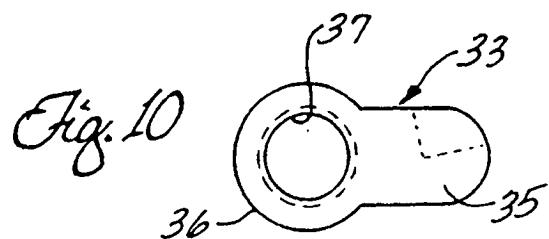
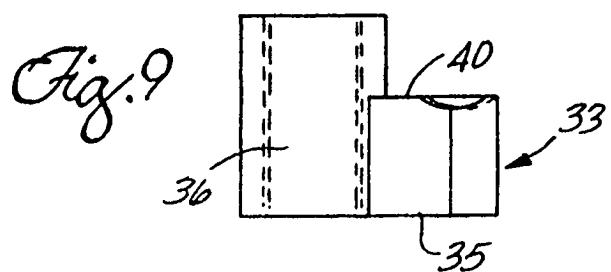
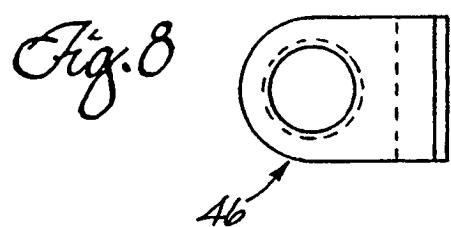
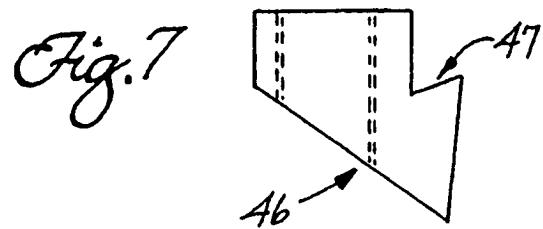


Fig. 4







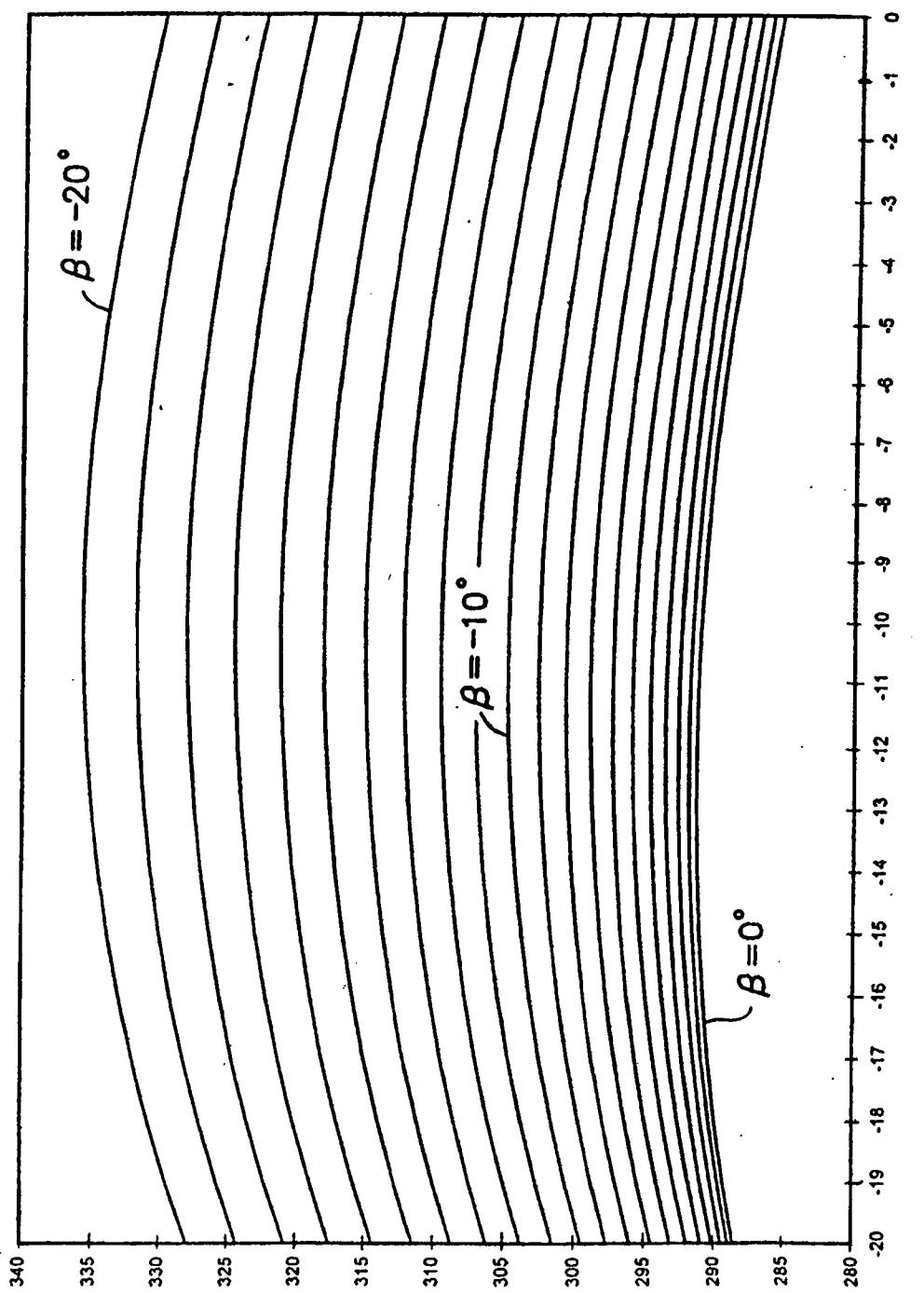
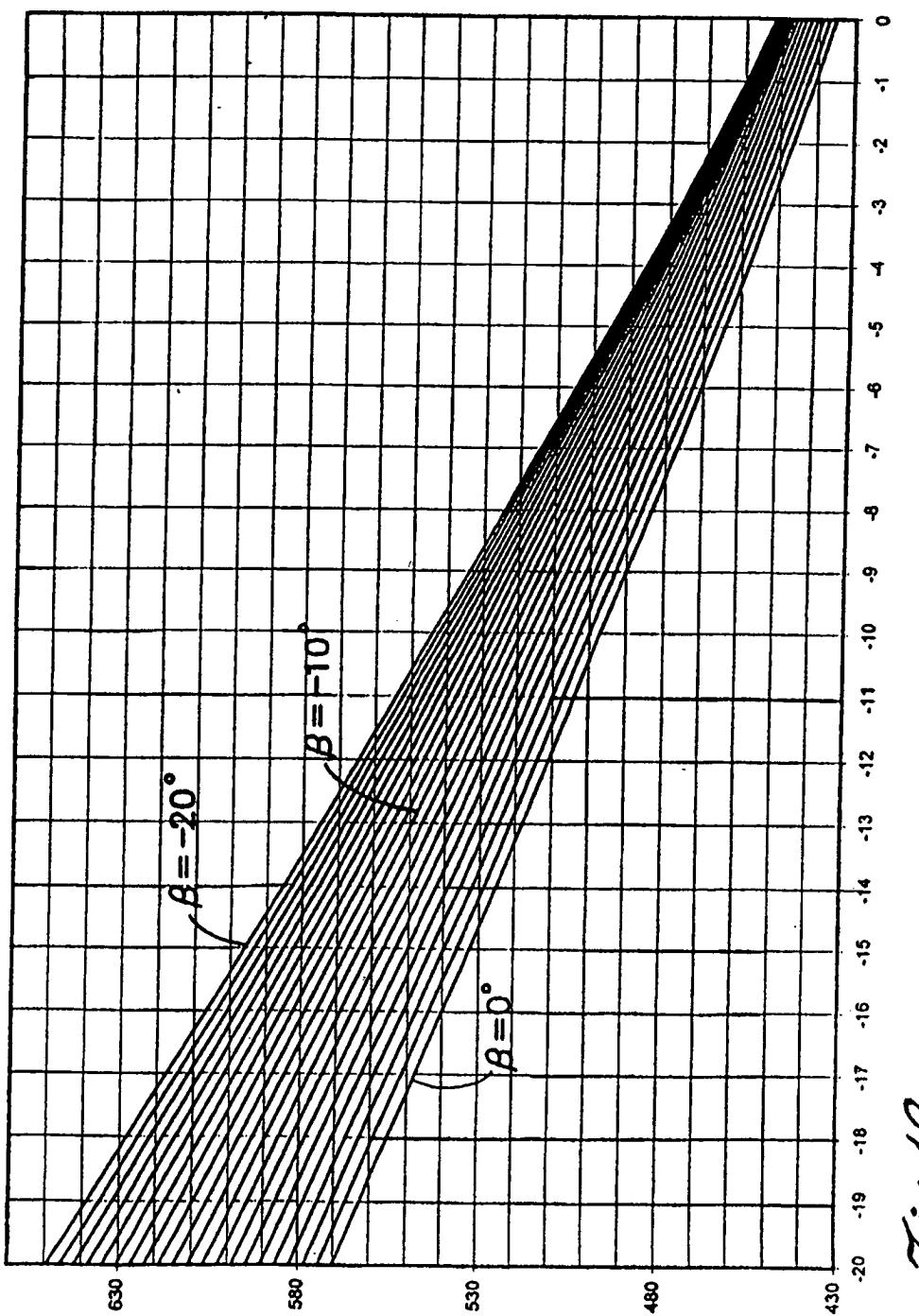


Fig. 11



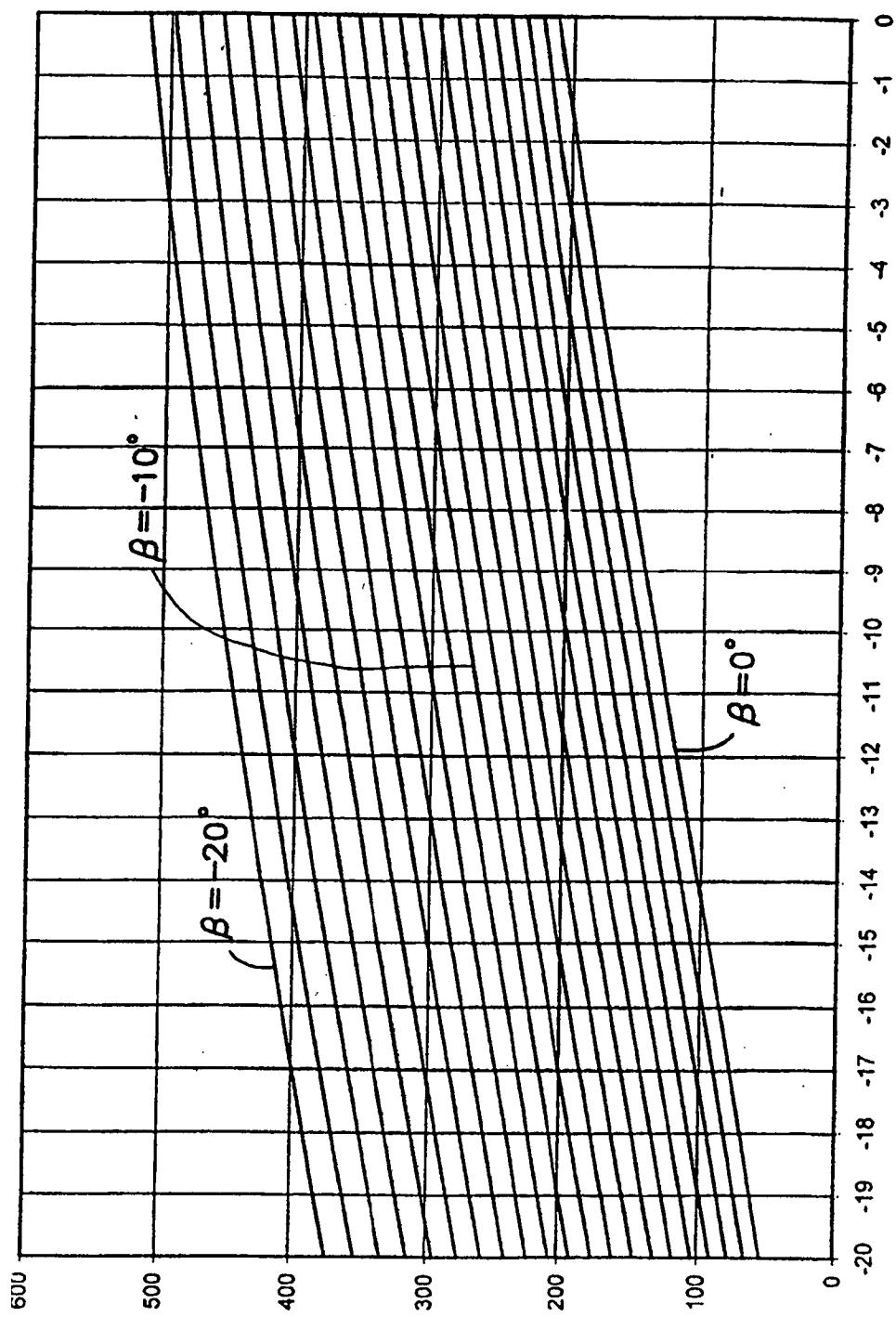


Fig. 13

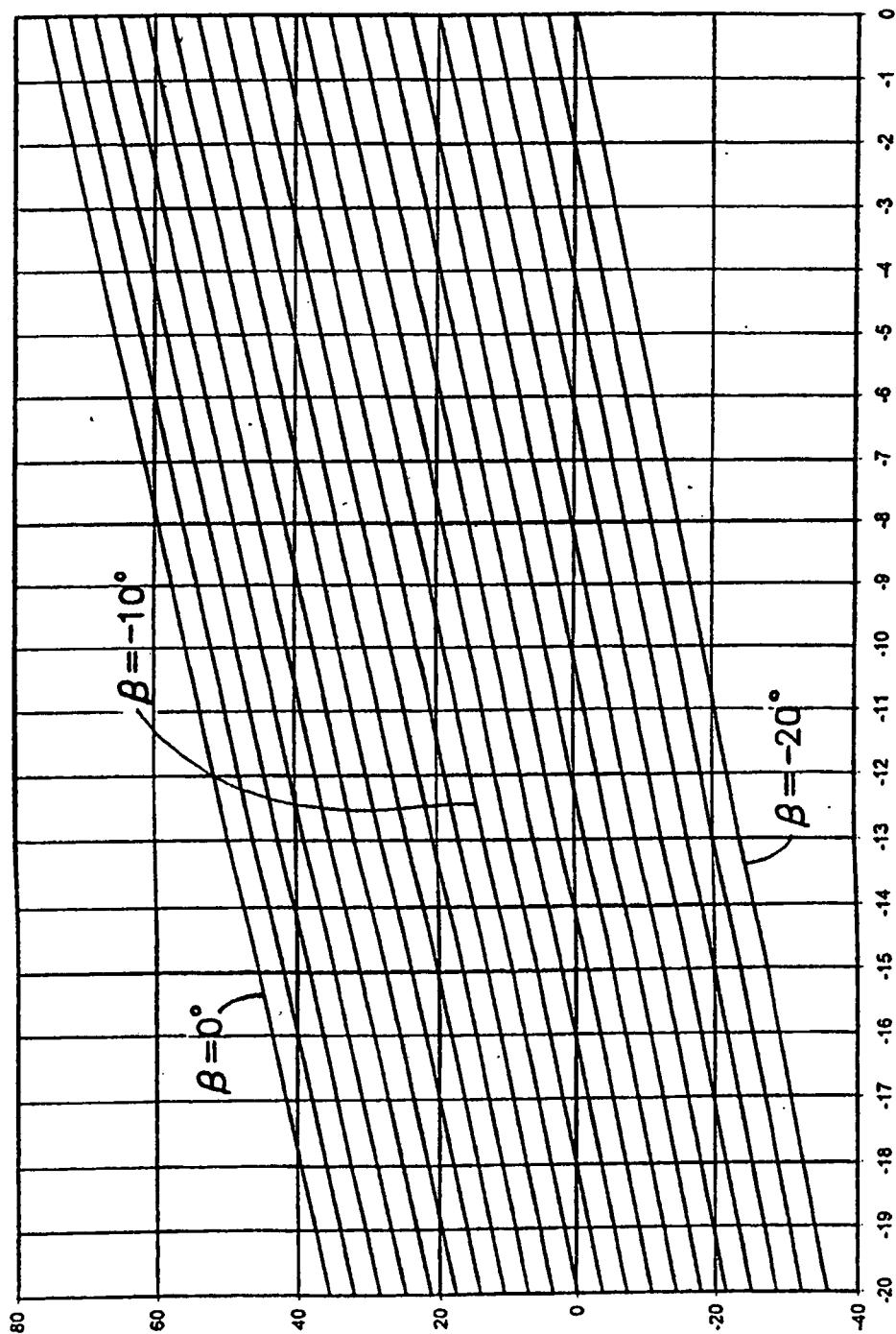


Fig. 14

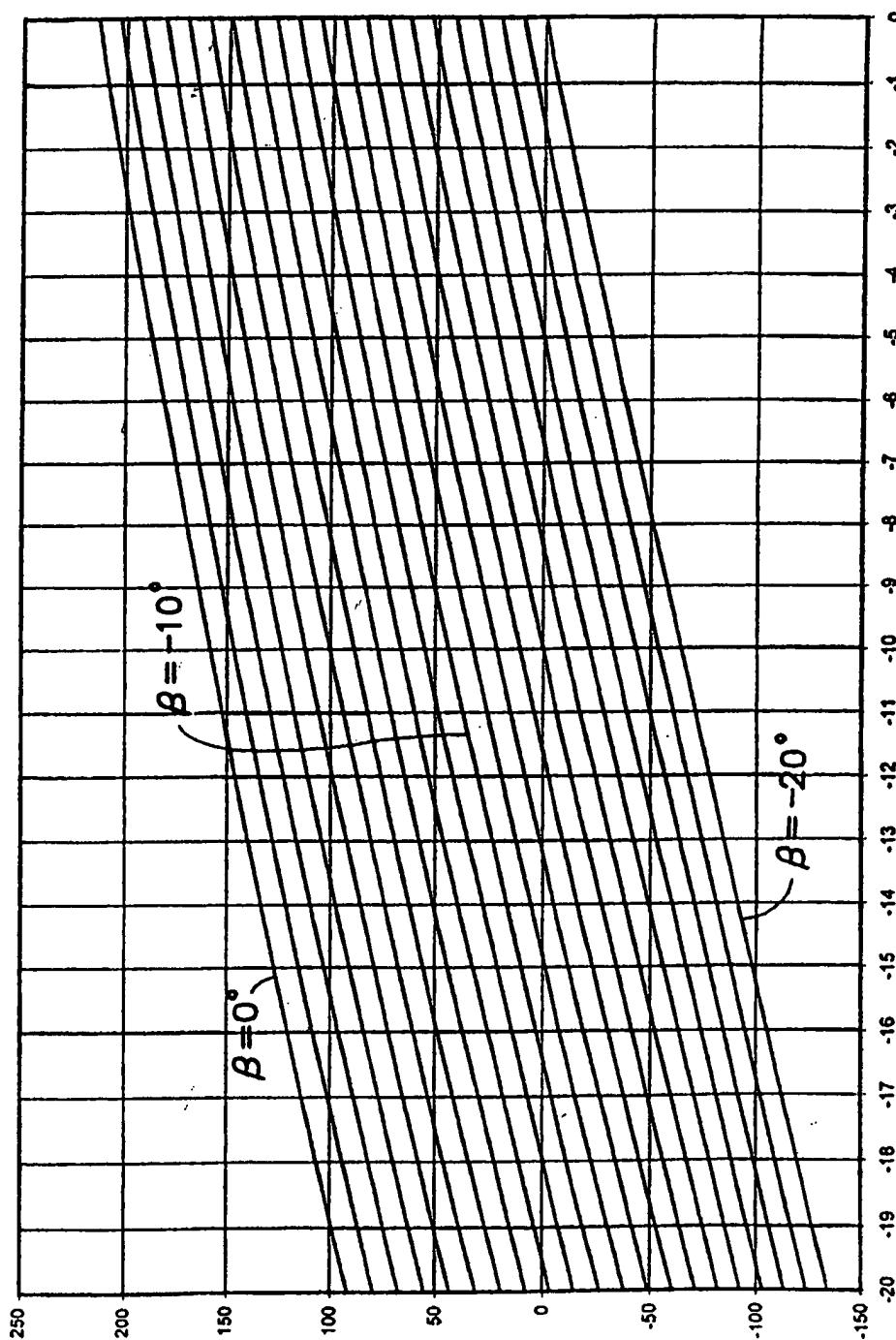


Fig. 15