

①⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Patentschrift
⑪ DE 3706847 C2

⑳ Aktenzeichen: P 37 06 847.4-52
㉑ Anmeldetag: 3. 3. 87
㉒ Offenlegungstag: 15. 9. 88
㉓ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 16. 2. 89

⑤① Int. Cl. 4:
G01 N 27/72

G 01 N 29/04
G 01 N 27/90
G 01 N 27/83
G 01 N 27/85
B 23 Q 11/04

DE 3706847 C2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:
Nordmann, Klaus, Dipl.-Ing., 5000 Köln, DE

⑦② Erfinder:
gleich Patentinhaber

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE-OS 34 04 232
DD 11 999
EP 01 65 482

Materialprüf. 20, Nr. 12, Dezember 1978, S. 446-449;
J. Krautkrämer: Werkstoffprüfung mit Ultraschall,
S. 158-161, S. 245-246, Springer-Verlag 1980;
J. Phys. E: Sci. Instru., Vol. 13, 1980, S. 383-386;
R.M.Bozorth: Ferromagnetism, 3. Aufl., S. 595-599, D.
van Nostrand Company, 1951;
H. Heptner, H. Stroppe: magnetische und magnet-
induktive Werkstoffprüfung, 2. Aufl., S. 129-132, VEB
Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie,
Leipzig 1969;
Materialprüfung, 21, Nr. 2, Februar 1979, S.37-40;

⑤④ Vorrichtung zur magnetinduktiven Verschleiß- und Bruchüberwachung von rotierenden Werkzeugen

DE 3706847 C2

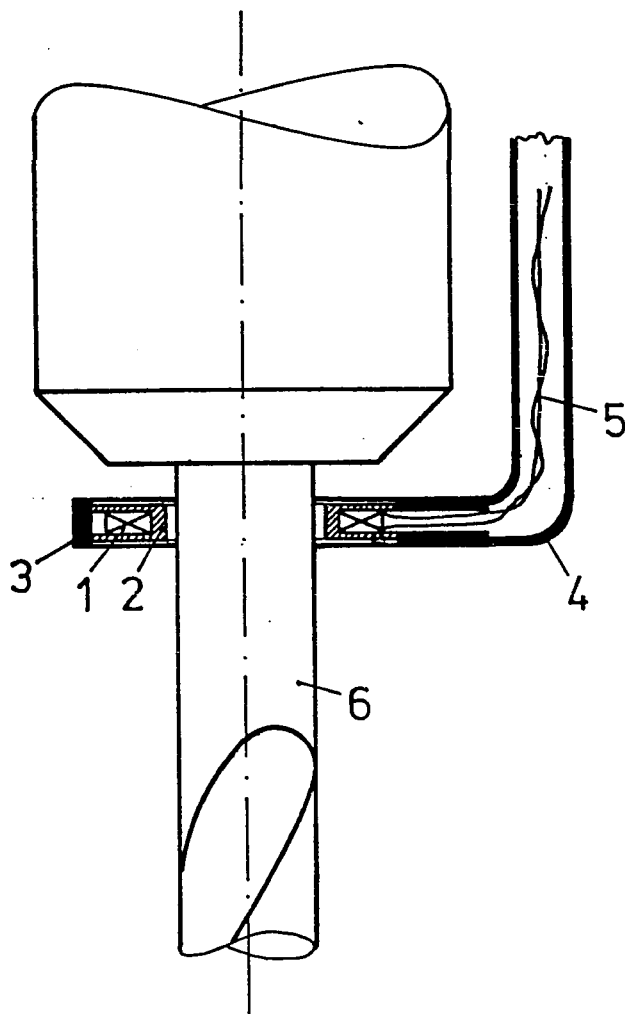


Fig.1

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Verschleiß- und Bruchüberwachung von ferromagnetischen Bauteilen durch magnetinduktive Messungen, bei der Magnetisierungs- oder Permeabilitätsänderungen des ferromagnetischen Bauteils, seines Spannfutters oder seines Antriebselements mit einer Meßspule gemessen und elektronisch hinsichtlich Bauteilverschleiß oder einer bauteilbruchtypischen Veränderung ausgewertet werden, dadurch gekennzeichnet, daß

a) die Überwachung an rotierenden Werkzeugen, insbesondere Bohrern und Fräsern, erfolgt, und daß

b1) zur Überprüfung einer so gewonnenen Verschleiß- oder Bruchmeldung die Änderung der Meßspuleninduktivität gemessen wird, und daß, falls es der Anwendungsfall erfordert,

b2) über die Meßspule mit Hilfe des magnetostruktiven Effektes Eigenschwingungen oder Ultraschallimpulse in das Werkzeug eingeleitet und deren Ausklingen bzw. Laufzeit gemessen werden.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die durch den Bearbeitungsprozeß oder Bruch des Werkzeuges angeregten Schwingungen des Werkzeuges, seines Spannfutters oder Antriebselements von einer hochresonanten Meßspule rein passiv empfangen werden.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Verhältnis zwischen den Amplituden der Wanderwelle oberhalb von 300 kHz und einer niedrigfrequenten Eigenschwingung des Werkzeuges, seines Spannfutters oder Antriebselements bei Überschreitung eines empirisch ermittelten Wertes zur Erkennung eines Bruches herangezogen wird.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die magnetomechanisch bedingte Permeabilitätsänderung des durch Verschleiß oder Bruch einer erhöhten mechanischen Spannung oder plötzlichen Spannungsänderung ausgesetzten ferromagnetischen Werkzeuges, seines Spannfutters oder Antriebselements mit einer Induktivitätsmessung der Meßspule mit einer hochfrequenten elektrischen Wechselspannung im 10 kHz-Bereich erfaßt wird.

5. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Induktivität der Meßspule mit dem Werkzeug als Kern, das sie konzentrisch umgibt, mit einer niedrigfrequenten Wechselspannung gemessen und hinsichtlich eines Induktivitätsabfalls als Kriterium für einen Bruch überprüft wird.

6. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein längliches Werkzeug dadurch auf seine Länge überprüft wird, daß beim Herausziehen des Werkzeuges aus dem Spulenquerschnitt der Induktivitätsabfall der Spule zur Überprüfung der Werkzeuglänge genutzt wird.

7. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die temperaturbedingte Induktivitätsänderung der Meßspule mit einer niedrigfrequenten Wechselspannung erfaßt und als Indiz für einen verschleiß- oder bruchbedingten Temperaturanstieg ausgewertet wird.

8. Vorrichtung zur Ermöglichung der Verfahren nach Anspruch 1 bis 7 an paramagnetischen Werk-

zeugen, Spannfuttern bzw. Antriebselementen, oder solchen mit zu geringer Meßempfindlichkeit oder schlechter Reproduzierbarkeit, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberfläche des im Spulenquerschnitt befindlichen Werkzeuges, Spannfutters oder Antriebselementes mit einer galvanischen Beschichtung oder einer Folie aus ferromagnetischem Material mit ausreichender Magnetostruktion bzw. Temperaturempfindlichkeit der Permeabilität versehen wird.

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Verschleiß- und Bruchüberwachung von rotierenden Bauteilen nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Es ist bekannt, daß der Zustand von Werkzeugen, wie Spiralbohrern oder Fräsern, z. B. durch mechanische Taster im Anschluß an einen Bohr- oder Fräsvorgang überwacht wird. Hierdurch wird ein Werkzeugbruch erkannt, so daß das Werkzeug vor Beginn des nächsten Bearbeitungsvorgangs ausgewechselt werden kann.

Hierbei ist jedoch von Nachteil, daß die Überprüfung des Werkzeugzustandes erst nach Abschluß der Werkstückbearbeitung erfolgt. Wenn ein Werkzeug bricht, dann geschieht dies aber in der Regel noch während der Arbeitsvorschub eingeschaltet ist. Unmittelbar nach einem Bruch können hohe Kräfte zwischen dem Werkzeug und dem Werkstück auftreten, da die Schneidfähigkeit des Werkzeuges nicht mehr gegeben ist. Im Fall eines Bohrerbruchs entstehen zwischen den Bruchflächen des Bohrers besonders hohe Kräfte, was zu folgenden Schäden und Kostenursachen führen kann:

— Verschweißen des Bohrerstumpfes im Werkstück und zusätzliche Mehrarbeit zu dessen Entfernung

— Ausschußproduktion, wenn eine Behebung des Schadens nicht lohnenswert ist

— Beschädigung der Maschine oder Dejustierung des Werkzeuges oder Werkstücks durch die auftretenden Kräfte

— Unvorhergesehener Maschinenausfall zwecks Schadensbehebung, was zum Stillstand einer ganzen Transferstraße bzw. des Produktionsflusses führen kann.

Die bisherigen Prüfeinrichtungen auf der Basis von mechanischen Tastern, induktiven Näherungsgebern oder optischen Systemen, die das Werkzeug oder das bearbeitete Werkstück nach einer Bohr- oder Fräsoperation auf ihre Geometrie überprüfen, erfordern bekanntlich einen relativ hohen Vorrichtungsaufwand zur Aufnahme der Fühler. Nach der Werkstückbearbeitung sind zudem für solche Prüfungen Nebenzeiten erforderlich, um die sich die Weiterbearbeitung durch nachfolgende Stationen verzögert.

Wenn der Werkzeugzustand während der Bearbeitung überwacht würde, wären die beschriebenen zusätzlichen Prüfungen in vielen Fällen nicht mehr erforderlich und die Kosten durch Werkzeugbruch könnten vermieden werden.

Der Erfindung liegt also die Aufgabe zugrunde ein Verfahren zu finden, das

a) einen drohenden Werkzeugbruch infolge Verschleißfortschritt oder anderer Prozeßstörungen, wie schlechtem Spänefluß, noch während der Bear-

beutung erkennt, oder/und
b) im Fall eines unvorhersehbaren Bruches diesen mit einer Verzögerung von nur wenigen Millisekunden detektiert.

Zu a) Bei Spiralbohrern kann sich ein drohender Werkzeugbruch dadurch ankündigen, daß das Werkzeug beginnt zu rattern. Die Ursache für dieses Rattern liegt in Torsionsschwingungen des Bohrers, die sich infolge der Wendeform des "Spiral"-Bohrers unter anderem als periodische Längenänderungen auswirken. Hierbei schlägt der Bohrer mit der Torsionsschwingfrequenz hart auf dem Bohrlochgrund auf, wobei der Bohrer wiederum zusätzlich zu Längsschwingungen ange regt wird. Diese Längsschwingungen (Grundschiwung und Höherharmonische) liegen bei Spiralbohrern mit normalen Längen über ca. 5 kHz bis weit in den Ultraschallbereich hinein.

Diese starken Schwingungen führen schon nach kurzer Zeit — ggfs. schon nach Sekunden — zum Bohrerbruch.

Zu b) Der Bruch selbst ist im allgemeinen ein Sprödbruch, der von einer hochfrequenten Schallemission begleitet ist. Er tritt aber nicht nur als Folge übermäßigen Verschleißes auf, sondern kann sich sehr plötzlich durch einen Spanklammer, beim Auflaufen auf Hartstellen, Lunker oder beim schrägen Anbohren ereignen.

Erfindungsgemäß werden diese Zusammenhänge berücksichtigt, um die genannte Aufgabe zu erfüllen.

Hierzu werden die ferromagnetischen Eigenschaften des Werkzeuges, seines Spannfutters oder seines Antriebs elementes unter mechanischen Belastungen, bei Temperaturänderungen und bei Änderungen der Abmessungen des Werkzeuges, genutzt. Im Mittelpunkt steht hierbei die Abhängigkeit der Permeabilität des ferromagnetischen Werkstoffes von Zug- und Druckspannungen, was als magnetomechanischer Effekt bezeichnet wird.

Da Werkzeugwerkstoff magnetisch sehr hart ist, befindet er sich immer- auch schon im Neuzustand— in einem gering magnetisierten Zustand. Die Permeabilitätsänderungen des Werkstoffes gehen somit mit Änderungen der Magnetisierung einher.

Wenn das Werkzeug — wie oben erläutert — durch Verschleiß oder Prozeßstörungen beginnt, in Längsrichtung zu schwingen, entstehen hierdurch dynamische Zug- und Druckspannungen. Das Abwechseln von Zug- und Druckspannungen mit der Schwingfrequenz führt zu dynamischen Änderungen der Magnetisierung des Werkzeuges. Diese Magnetisierungsänderungen induzieren in eine benachbart angeordnete Spule eine der Amplitude der Magnetisierungsänderung und ihrer Frequenz proportionale Wechselspannung. Das zu überwachende Bauteil selbst übernimmt hierbei sozusagen die Funktion des Sensorelements.

Die Meßspule kann beispielsweise das zu überwachende Werkzeug konzentrisch umgeben. Sie kann entweder mit dem Arbeitsvorschub verfahren, so daß sie gegenüber dem Werkzeug immer die gleiche Lage hat, oder aber auch ortsfest, z. B. direkt vor der Bohrbuchse, durch die ein Bohrer oft zur Verhinderung des "Verlaufens" beim Anbohren geführt wird, befestigt werden.

Von den mit dieser Meßspule rein passiv gemessenen hochfrequenten Magnetisierungsänderungen wird mit einer elektronischen Auswerteeinheit ohne Zeitverzug die Hüllkurve gebildet. Diese Hüllkurve verläuft bei einem störungsfreien Bearbeitungsvorgang auf einem relativ niedrigen und gleichmäßigen Niveau, während

beim verschleißbedingten Rattern des Werkzeuges sehr hohe Magnetisierungsänderungen gemessen werden, welche zur Erkennung des Werkzeugverschleißes herangezogen werden.

Zur Werkzeubruchererkennung wird das gemessene Körperschallsignal auf seinen Frequenzinhalt untersucht. Denn im Moment des Bruches treten wesentlich höherfrequente Signalanteile oberhalb von 300 kHz auf, wie auch schon in der EP-OS 01 65 482, in der ein piezoelektrischer Schallemissionaufnehmer verwendet wird, beschrieben wurde.

In der Zeitschrift Materialprüfung (1978, Nr. 12 und 1979, Nr. 2) beschreibt Polanschütz Messungen mit einer Spule, die während der Dehnung einer Zugprobe konzentrisch um diese angeordnet ist. Er benötigte für seine Messungen ein zusätzliches Magnetfeld, welches durch zwei weitere Spulen in Helmholtz-Anordnung erzeugt wurde. Durch die plastische Dehnung und das Zerreißen der Zugprobe wurden nach seinen Angaben vor allem Frequenzanteile im Bereich einer Eigenschwingung der Probe gemessen (ca. 50 kHz). Obwohl der Meßaufbau ähnlich dem dieser Erfindung zugrunde liegenden ist, beschreibt Polanschütz nicht die Messung der ursächlich von einem Sprödbruch ausgehenden Wanderwellen hohen Frequenzinhalts. Er mißt mit seiner Meßapparatur offensichtlich nur deren Auswirkungen in Form einer Anregung der Probe in einer Eigenschwingung.

Bei den dieser Erfindung zugrunde liegenden eigenen Messungen lag demgegenüber die Resonanzfrequenz des Spule-Kabel-Verstärker-Systems oberhalb von 350 kHz, so daß die Wanderwellen erfaßt und durch ihren Frequenzinhalt von den Eigenschwingungen des Werkzeuges unterschieden werden konnten. Die nur wenige Mikrosekunden kurzen Wellen regen die Meßspule vorwiegend in ihrer Resonanzfrequenz an. Gerade diese hochfrequente Schwingung wird mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Bruchererkennung ausgenutzt, indem das Verhältnis der Amplitude diese Welle zu der Amplitude einer niedrigfrequenten Eigenschwingung zwischen 10 und 100 kHz gebildet, und bei Überschreiten eines zuvor festgelegten Verhältniswertes eine Bruchmeldung erzeugt wird.

Gegenüber den genannten Druckschriften wird außerdem wegen der ausreichenden Grundmagnetisierung fabrikneuer Werkzeuge mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung kein zusätzliches Magnetfeld zur Erzielung einer ausreichenden Meßempfindlichkeit benötigt.

Verschleiß- oder Bruchmeldungen, die mit dieser Schwingungsmeßtechnik gewonnen werden, können auch fehlerbehaftet sein, zumal es nicht immer möglich sein wird, die Eigenheiten jeder Werkzeug/Werkstoffkombination mit ihrem Einfluß auf die Anregung von Bohrererschwingungen vorauszusehen. Auch können elektrische Störsignale auftreten, die insbesondere die Bruchererkennung auf der Grundlage der rein passiven Meßtechnik erschweren.

Aus diesem Grund werden erfindungsgemäß zusätzliche Messungen durchgeführt, die eine Verschleiß- oder Bruchmeldung auf ihre Richtigkeit automatisch überprüfen. Die im folgenden beschriebenen Meßtechniken dienen im wesentlichen dieser Überprüfungsaufgabe:

Mit der selben Spule werden plötzliche Änderungen der mechanischen Zug- und Druckspannungen im bewegten Werkzeug, seiner Halterung oder Antriebsspindele zusätzlich auch aktiv über eine Induktivitätsmessung der Spule erfaßt. Die belastungsabhängigen Permeabili-

tätsänderungen des ferromagnetischen Bauteils bewirken eine direkte Induktivitätsänderung der Spule, deren Magnetfeld während der Messung das Bauteil durchdringt.

Wegen des relativ großen Einflusses der Temperatur des Bauteiles auf das Meßergebnis wurde in Versuchen nur der dynamische Anteil der Induktivität betrachtet. Bei der Induktivitätsmessung wurde ein im 10 kHz-Bereich liegendes Wechselfrequenzsignal als Trägerfrequenz gewählt, um Änderungen der mechanischen Spannung bis ca. 1 kHz erfassen zu können.

Es stellte sich heraus, daß insbesondere Instabilitäten des Bearbeitungsvorgangs, wie z. B. Rattern infolge zunehmenden Werkzeugverschleißes, beim Bohren und Fräsen gut überwacht werden kann. Aber auch plötzliche Belastungsänderungen beim Werkzeugbruch werden hierdurch erkannt und dienen der Bestätigung für eine gleichzeitig gewonnene Bruchmeldung auf der Basis der passiven Messung. Ein Bruchalarm wird erst nach einer logischen UND-Verknüpfung beider Überwachungskanäle ausgelöst.

Als zusätzliche Sicherheit bei der Überwachung von länglichen Werkzeugen auf Bruch ist es möglich, über eine Messung des induktiven Widerstandes der Spule eine Aussage über eine bruchbedingte Verkürzung des Werkzeuges zu machen. Hierbei sind 2 Verfahren zu unterscheiden:

1. Eine den Bearbeitungsvorgang begleitende Induktivitätsmessung der Spule: Hierbei wird die sogenannte Formpermeabilität des Werkzeuges gemessen, die vom Verhältnis der Länge eines Werkzeuges zu seinem Durchmesser abhängt. Die Formpermeabilität läßt sich ebenfalls über eine Induktivitätsmessung bei geringer Wechselfrequenz des Magnetfeldes, das das Werkzeug in seiner ganzen Länge oder zumindest bis zur wahrscheinlichen Bruchstelle durchdringen muß, erfassen. Ein durch Abbrechen plötzlich kürzeres Werkzeug führt zu einer Induktivitätsverringerung der Meßspule, solange die Bruchstelle für den Fall einer Bohrerüberwachung außerhalb der Bohrung in ein ferromagnetisches Material liegt, und sich zwischen Spule und Bruchstelle keine Bohrbuchse befindet. Die Induktivitätsmessung beeinträchtigt nicht die oben beschriebene rein passive Messung, da das zur Induktivitätsmessung erforderliche niedrigfrequente Wechselfrequenzsignal durch einen steifflankigen Tiefpaßfilter von der Trägerfrequenz der beschriebenen aktiven Schwingungsmessung und den rein passiv gemessenen Ultraschallschwingungen getrennt wird. Die Feldstärke zur Induktivitätsmessung wird zudem so niedrig gehalten, daß der Magnetisierungszustand des Werkzeuges nicht beeinträchtigt wird. Der Einfluß der Werkzeugtemperatur auf die gemessene Induktivität wird mit Hilfe des statischen Anteils der parallelen Induktivitätsmessung bei hoher Trägerfrequenz, die nur eine örtliche Durchdringung des Werkzeuges durch das Magnetfeld ergibt und damit unabhängig von der Formpermeabilität ist, in der elektronischen Auswerteeinheit mathematisch weitgehend kompensiert.

2. Eine im Anschluß an den Bearbeitungsvorgang durchgeführte Induktivitätsmessung bei einer ortsfesten Halterung der Meßspule (z. B. vor einer Bohrbuchse): Hierzu wird der steile Induktivitätsabfall der Spule beim Austritt der Werkzeugspitze

aus dem Spulenquerschnitt ausgenutzt. In Verbindung mit einer Vorschubweginformation oder einer einfachen Zeitmessung während des Werkzeugrückzuges kann so sehr exakt festgestellt werden, ob das Werkzeug gebrochen ist.

Im folgenden wird der Einsatz der Meßspule in Verbindung mit noch weiteren Verfahren zur Überprüfung der Werkzeuglänge beschrieben, die dann zur Anwendung kommen, wenn eine Werkzeuglängenbestimmung auf der Basis der oben beschriebenen Induktivitätsmessung nicht möglich ist. Dies ist z. B. dann der Fall, wenn die Bruchstelle zu weit von der Spule entfernt ist, um einen meßbaren Einfluß auf die Formpermeabilität im Spulenquerschnitt zu haben, oder wenn das Werkzeug nicht aus dem Spulenquerschnitt gezogen werden kann.

Für diesen Fall wird nach einer auf der Basis der eingangs beschriebenen Methoden gewonnenen Bruchmeldung die Werkzeuglänge mit dem Impuls-Laufzeit-Verfahren gemessen, wobei der Ultraschallimpuls nicht mit einem mechanisch schwingenden Prüfkopf, sondern über ein hochfrequentes Magnetfeld mit der gleichen, konzentrisch um das Werkzeug angeordneten Spule aufgrund der Magnetostraktion des Werkzeugwerkstoffes erzeugt wird. Ein solches Verfahren zur Überprüfung von magnetostruktiven Materialien auf Fehlstellen wurde bereits in der DD-PS 11 999 und von Krautkrämer im Buch "Werkstoffprüfung mit Ultraschall" (S. 161 der vierten Ausgabe) beschrieben. Die in ihrer Entstehung noch ringförmige Ultraschallwelle breitet sich u. a. in axialer Richtung des Werkzeuges aus und wird an seinen Enden reflektiert. Bei Kenntnis des Abstandes des bruchgefährdeten Werkzeugendes von der Spule kann die Laufzeit bis zu theoretischen Rückkehr des Echos berechnet werden. Unmittelbar nach Aussenden des Ultraschallimpulses wird die Spule auf "Empfangen" umgeschaltet, so daß das Echo in Wechselwirkung mit dem Magnetomechanischen Effekt in die Spule eine elektrische Spannung mit der Frequenz des Ultraschallechos induzieren kann. Das Echo wird gegenüber den Störsignalen der übrigen Echos, die z. B. vom rückwärtigen Ende des Werkzeuges kommen, durch ein zeitliches Erwartungsfenster abgegrenzt. Tritt das Echo nicht so gegenüber vorherigen Messungen zeitlich früher auf, so muß das Werkzeug durch Bruch verkürzt worden sein.

Neben der reinen Längenmessung kann aber auch das gesamte Spektrum der empfangenen Echos zur Überwachung komplizierterer Werkzeuggeometrien herangezogen werden. Hierzu wird das gesamte Echogramm des intakten Werkzeuges als Muster abgespeichert und mit den folgenden Echogrammen verglichen. Mit dieser Methode lassen sich z. B. einzelne Schneidenausbrüche oder sich bildende Risse an HSS- oder Vollhartmetallfräswerkzeugen erkennen.

Neben dieser Methode der Messung von Ultraschall-Laufzeiten wird alternativ ein anderes Verfahren zur Überprüfung einer Bruchmeldung eingesetzt, welches in einigen Fällen vorzuziehen ist. Das Werkzeug wird hierbei über die Spule mit Hilfe des magnetostruktiven Effektes in seiner Eigenschwingung angeregt. Unmittelbar nach einer kurzzeitigen Anregung mit hoher elektrischer Wechselfrequenz wird die Spule auf Empfangen umgeschaltet, um die Frequenz des Ausschwingvorgangs des Werkzeuges zu messen. Bei einer Veränderung der für den Werkzeugzustand typischen Eigenfrequenz wird eine Bruchmeldung erzeugt.

Zur Absicherung einer Verschleiß- oder Bruchmeldung, die auf der Basis der beschriebenen Schwingungs-

messungen gewonnen wurde, wird erfindungsgemäß bei kühlmittelfreien Bearbeitungen auch das folgende Verfahren in Verbindung mit der Meßspule eingesetzt:

Der Verschleiß eines Werkzeuges geht beim Verschleißfortschritt mit einer Temperaturerhöhung des Werkzeuges einher. Die Permeabilität ferromagnetischer Werkstoffe erhöht sich im allgemeinen mit der Temperatur. Dieser Effekt wurde bereits als Störgröße bei der aktiven Messung der Zug- und Druckspannungen genannt, wird hier aber dazu ausgenutzt, eine verschleiß- oder auch bruchbedingte Temperaturerhöhung des Bohrers zu erfassen. Die Permeabilitätsänderung kann über eine Messung der Spuleninduktivität erfaßt werden.

Beim Bohren mit HSS-Bohrern wurden mit zunehmendem Verschleiß temperaturbedingte Erhöhungen der Induktivität um etwa 10% gemessen. Das Trägerfrequenzsignal wird hierbei so schwach gewählt, daß im Fall einer Kombination mit der obigen Schwingungsmessung das Werkzeug nicht entmagnetisiert wird. Außerdem zeigt die Permeabilität bei kleinen magnetischen Flußdichten die größte Temperaturabhängigkeit. Die der Induktivität entsprechende Meßspannung wird durch einen sehr trägen Tiefpaß geglättet, um die dynamischen Schwankungen infolge der Werkzeug-

schwingungen herauszufiltern. Prinzipiell läßt sich die Vorrichtung in Verbindung mit den beschriebenen Verfahren auch an Maschinenelementen aus nicht ferromagnetischen bzw. paramagnetischen Werkstoffen einsetzen. Durch Beschichten der Maschinenelemente mit einer geeigneten ferromagnetischen Folie oder einem galvanischen Nickel- oder Nickel/Eisen-Überzug können die Meßeffekte an beliebigen Werkstoffen genutzt werden, oder zu einer Verbesserung der Meßsignalqualität bezüglich Empfindlichkeit und Reproduzierbarkeit beitragen.

Die beschriebenen Verfahren werden durch Öl oder Kühlschmierstoff im Meßspulenquerschnitt nicht beeinflusst, da die relative Permeabilität beider Medien, wie die von Luft, annähernd gleich 1 ist.

Die mit der Erfindung erzielten Vorteile bestehen insbesondere darin, daß ein Werkzeugbruch durch die prozeßbegleitende Messung vermieden werden kann. Tritt ein Bruch, z. B. durch ein plötzliches Festhaken und Abscheren des Werkzeuges, dennoch auf, so besteht der Vorteil darin, daß dieser Bruch noch im Moment des Bruches erkannt wird. Während die Verschleißüberwachung nicht an allen Werkzeugen möglich ist, läßt sich die Meßspule zur Brucherkenkung einer Vielzahl rotierender Werkzeuge verwenden, da der Bruch in den meisten Fällen mit einer ausgeprägten Schallemission einhergeht.

Die beschriebenen Verfahren dienen zur gegenseitigen Überprüfung der Messungen, um eine eindeutige und fehlerfreie Meldung erzeugen zu können. So kann z. B. ein während der Werkstückbearbeitung ausgelöster Bruchalarm sofort durch einen Rückzug des Werkzeuges im Eilgang überprüft werden, währenddessen die Werkzeuglänge mit einem der beschriebenen Verfahren gemessen wird.

Der Aufwand an Sensorik beschränkt sich auf nur eine flache Spule, da diese die Durchführung aller beschriebenen Überwachungsfunktionen ermöglicht. Spulen lassen sich bei einer entsprechenden Kapselung robust aufbauen, so daß sie den mechanischen und thermischen Belastungen standhalten können. Sollte die Meßspule, z. B. durch den Werkzeugbruch, zerstört werden, so ist sie dank ihres einfachen Aufbaus — wie die nach-

folgende Beschreibung eines Ausführungsbeispiels zeigt — relativ preiswert ersetzbar.

Ein weiterer Vorteil dieser Vorrichtung gegenüber den Werkzeugprüfeinrichtungen, die das Werkzeug auf Vorhandensein seiner Spitze abtasten, besteht darin, daß im Fall der Spiralbohrerüberwachung auch ein geringfügiges Herausziehen eines Bohrers aus seinem Spannfutter erkannt werden kann. Zum Beispiel bei fortgeschrittenem Führungsfaser Verschleiß und einem noch relativ guten Haupt- und Querschneidenzustand kommt es vor, daß die Vorschubkraft ihre Richtung umkehrt und sozusagen das Werkstück am Bohrer zieht. Ein stückweises Herausrutschen des Bohrers aus dem Spannfutter führt infolgedessen zu unerwünscht größeren Bohrlochtiefen und beim Anbohren zu einem Aufsetzen der Bohrspitze im Eilvorschub, wodurch der Bohrer brechen kann.

Fig. 1 zeigt als Ausführungsbeispiel eine Meßspule, die im wesentlichen nur aus der Spulenwicklung (1), dem Spulenkörper (2) aus Keramik und dem Spulengehäuse (3) aus Metall besteht.

Eine als Hohlkörper ausgebildete Halterung (4) sorgt auch beim Auftreten von Wirtspänen für eine sichere Fixierung des Spulengehäuses (3) und schützt gleichzeitig die Meßkabel (5), die im Inneren der Halterung (4) verlegt werden.

Der Spulenkörper (2) ist aus verschleißfester Keramik, so daß er auf dem Bohrer ggfs. schleifen kann. Für die Qualität der Meßsignale ist die genau konzentrische Ausrichtung der Spule mit der Bohrerachse nicht von entscheidender Bedeutung.

Das metallene Spulengehäuse (3) übernimmt neben dem Schutz der Spule vor Spänen und ggfs. Kühlschmierstoff auch eine abschirmende Funktion gegenüber magnetischen Störfeldern.

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen
