

Verfahren zum Bearbeiten von flachen Werkstücken

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bearbeiten von flachen Werkstücken in einer Doppelseitenbearbeitungsmaschine, die eine obere und eine untere Arbeitsscheibe aufweist, wobei mindestens eine der Arbeitsscheiben rotierend angetrieben ist und die Arbeitsscheiben jeweils eine ringförmige Arbeitsfläche besitzen, wobei die Arbeitsflächen zwischen sich einen ebenfalls ringförmigen Arbeitsspalt begrenzen, in dem sich mindestens ein Träger befindet, der mindestens ein Werkstück in dem Arbeitsspalt führt, so dass das mindestens eine Werkstück zwischen den Arbeitsflächen doppelseitig bearbeitet wird. Mit derartigen Bearbeitungsmaschinen werden beispielsweise Halbleiterscheiben (Wafer) doppelseitig bearbeitet, z.B. geschliffen oder poliert. Es ist dabei von entscheidender Bedeutung, den Materialabtrag präzise zum gewünschten Zeitpunkt bzw. bei Erreichen einer vorgegebenen Werkstückdicke zu beenden. Einerseits soll eine große Anzahl von Werkstücken mit einer möglichst geringen Dickenstreuung hergestellt werden. Andererseits hängt die Qualität der bearbeiteten Werkstücke und die Wirtschaftlichkeit des Prozesses insbesondere bei der Doppelseitenpolitur empfindlich davon ab, welche Dicke das bearbeitete Werkstück im Verhältnis zu dem das Werkstück aufnehmenden Träger hat. Es kann dabei bevorzugt sein, den Bearbeitungsvorgang zu beenden, wenn das Werkstück um wenige Mikrometer dicker als der Träger, beispielsweise eine Läuferscheibe, ist. Auf diese Weise werden eine Abrasion und damit ein vorzeitiger Verschleiß des Trägers vermieden. Es kann andererseits bevorzugt sein, die Werkstücke möglichst präzise auf die gleiche Dicke zu bearbeiten wie die Trägerdicke. Dies führt zu einer vorteilhaften Dickenverteilung über die Oberfläche des Werkstücks. Es kann schließlich gewünscht sein, den Bearbeitungsvorgang, beispielsweise einen Poliervorgang, noch weiter fortzusetzen und geringfügig in die Oberfläche des Trägers zu arbeiten, beispielsweise zu polieren. Auf diese Weise wird eine optimale lokale Ebenheit,

- 2 -

insbesondere im Randbereich des Wafers, erreicht. Nachteilig bei den beiden letztgenannten Vorgehensweisen ist allerdings ein erhöhter Verschleiß der Träger, beispielsweise Läuferscheiben, da diese mit den Arbeitsbelägen der Arbeitsflächen in Berührung kommt. Zwischen den drei genannten möglichen Vorgehensweisen liegt oftmals nur ein Dickenunterschied der Werkstücke von 5 - 10 μm . Vor diesem Hintergrund ist es zwingend erforderlich, die Bearbeitung der Werkstücke präzise zum richtigen Zeitpunkt zu beenden, um reproduzierbar Werkstücke mit der gewünschten Qualität herzustellen.

Zur Werkstückdickenmessung sind aus dem Stand der Technik bereits Lösungen bekannt. So beschreibt US 4 433 510 A eine Messung des Abstands der Arbeitsscheiben zueinander mit einem Wirbelstromsensor. Um Messfehler bedingt durch Unebenheit oder nicht vollständig parallele Ausrichtung der Arbeitsscheiben zu vermeiden, erfolgt die Abstandsmessung dabei nur zu bestimmten Zeitpunkten, an denen sich die Arbeitsscheiben in der gleichen Winkelposition zueinander befinden. Aus US 5 969 521 A ist eine Vorrichtung bekannt, die mindestens zwei Wirbelstromsensoren aufweist, wobei durch die Anordnung der Sensoren zueinander sichergestellt werden soll, dass einer der Sensoren gerade „freie Sicht“ auf die gegenüberliegende Arbeitsscheibe hat, wenn der andere Sensor die Anwesenheit einer Läuferscheibe detektiert. Auf diese Weise sollen Messfehler vermieden werden, die durch die Läuferscheiben bedingt werden. US 7 147 541 A beschreibt eine Vorrichtung zur Dickenmessung von Werkstücken bei der Doppelseitenbearbeitung mit einem Wirbelstromsensor, der den Abstand einer Arbeitsscheibe zu der Oberfläche einer Läuferscheibe misst. Ein Arbeitsbelagverschleiß soll dabei rechnerisch kompensiert werden. Darüber hinaus ist aus DE 10 2004 040 429 A1 eine Doppelseitenpoliermaschine bekannt geworden, die an mindestens zwei radial beabstandeten Punkten des Polierspalts den Abstand der Polierscheiben misst. Basierend auf dieser Messung wird eine unerwünschte

- 3 -

Verformung des Arbeitsspalts detektiert und dieser gegebenenfalls entgegengewirkt. Auch aus DE 10 2006 037 490 A1 ist eine Vorrichtung zur Beeinflussung der Arbeitsspaltgeometrie bekannt, mit der mindestens eine der Arbeitsscheiben konkav oder konvex verformt werden kann.

Die bekannten Verfahren zur Bestimmung der Werkstückdicke stellen oftmals nicht die erforderliche Genauigkeit bereit. Insbesondere kommt es durch im Betrieb unvermeidliche oder gezielt herbeigeführte Abweichungen der Spaltgeometrie von der Planparallelität zu Messfehlern und dadurch ungenauen Dickenbestimmungen.

Ausgehend von dem erläuterten Stand der Technik liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art bereit zu stellen, mit dem Werkstücke präziser bis zu einer vorgegebenen Dicke bearbeitet werden können.

Die Erfindung löst diese Aufgabe durch den Gegenstand von Anspruch 1. Vorteilhafte Ausgestaltungen finden sich in den abhängigen Ansprüchen, der Beschreibung und den Figuren.

Für ein Verfahren der eingangs genannten Art löst die Erfindung die Aufgabe dadurch, dass an mindestens zwei radial beabstandeten Messorten des Arbeitsspalts der Abstand zwischen den Arbeitsscheiben gemessen wird, und dass aus den gemessenen Abständen ein Abstand zwischen den Arbeitsscheiben an einem die Dicke des in dem Arbeitsspalt bearbeiteten mindestens einen Werkstücks repräsentierenden Ort des Arbeitsspalts, beispielsweise einem von den Messorten wiederum radial beabstandeten Ort des Arbeitsspalts, ermittelt wird und aus dem so ermittelten Abstand auf die Dicke des in dem Arbeitsspalt bearbeiteten mindestens einen Werkstücks geschlossen wird. Die Arbeitsflächen der Arbeitsscheiben werden durch ihre dem Arbeitsspalt zugewandten Oberflächen gebildet. Der Abstand

- 4 -

zwischen den Arbeitsscheiben ist also insbesondere der Abstand zwischen ihren Arbeitsflächen. Bei der erfindungsgemäßen Doppelseitenbearbeitung kann es sich z.B. um ein Schleifen, Läppen, Honen oder Polieren handeln. Bei den Werkstücke kann es sich z.B. um Halbleiterscheiben (Wafer) handeln. Es kann insbesondere eine Mehrzahl von Werkstücken gleichzeitig in dem Arbeitsspalt bearbeitet werden. Die Werkstückdicke, auf die erfindungsgemäß geschlossen wird, ist die momentane Werkstückdicke bei der Bearbeitung. Insbesondere kann aus dem aus den gemessenen Abständen ermittelten Abstand der Arbeitsscheiben die Werkstückdicke konkret bestimmt, insbesondere berechnet, werden. So kann der ermittelte Abstand beispielsweise direkt als Werkstücksdicke angenommen werden, gegebenenfalls unter Subtraktion einer Arbeitsbelagdicke. Es ist aber auch möglich, nur einen Abschaltzeitpunkt für die Bearbeitung zu bestimmen, ohne die Werkstückdicke dabei konkret zu ermitteln. Es wird also nur bei einem bestimmten erfindungsgemäß aus den gemessenen Abständen ermittelten Abstand darauf geschlossen, dass nun die gewünschte Werkstückdicke vorliegt und die Bearbeitung beendet. Anhand des erfindungsgemäßen Rückschlusses auf die Werkstückdicke wird also der Abschaltzeitpunkt für die Bearbeitung ermittelt, so dass die Werkstücke nach der Bearbeitung präzise die vorgegebene Dicke besitzen.

Erfindungsgemäß werden erstmals Messsignale mindestens zweier Abstandssensoren kombiniert, um den Abstand an einem bestimmten, insbesondere weiteren Ort des Arbeitsspalts zu bestimmen und daraus eine Werkstücksdicke oder einen Abschaltzeitpunkt für die Bearbeitung zu bestimmen. Insbesondere kann der Abstand zwischen den Arbeitsscheiben an einer beliebigen radialen Position aus den Messsignalen zweier radial beabstandet angeordneter Messsensoren berechnet und für die Bestimmung des Abschaltpunktes der Bearbeitung oder für eine Berechnung der tatsächlichen Werkstückdicke herangezogen werden. Dies sei im Folgenden näher erläutert, wobei im weiteren die folgenden Definitionen verwendet werden:

- 5 -

- R_i : Radius des inneren Arbeitsscheiben- bzw. Arbeitsflächenrands
 R_a : Radius des äußeren Arbeitsscheiben- bzw. Arbeitsflächenrands
 R_m : Mittelwert aus R_i und R_a (mittlerer Radius der Arbeitsscheibe)
 R_1 : Radiale Position eines ersten (inneren) Sensors
 R_2 : Radiale Position eines zweiten (äußeren) Sensors
 R_s : Radius, bei dem eine Änderung der Spaltgeometrie keine Abstandsänderung bewirkt
 D_i : Abstand zwischen den Arbeitsflächen der Arbeitsscheiben bei R_i
 D_a : Abstand zwischen den Arbeitsflächen der Arbeitsscheiben bei R_a
 D_m : Abstand zwischen den Arbeitsflächen der Arbeitsscheiben bei R_m
 D_1 : Abstand zwischen den Arbeitsflächen der Arbeitsscheiben am Ort eines ersten Abstandssensors
 D_2 : Abstand zwischen den Arbeitsflächen der Arbeitsscheiben am Ort eines zweiten Abstandssensors
 ΔD_1 : Veränderung des Abstands zwischen den Arbeitsflächen der Arbeitsscheiben am Ort des ersten Sensors
 ΔD_2 : Veränderung des Abstands zwischen den Arbeitsflächen der Arbeitsscheiben am Ort des zweiten Sensors
 $D(R)$: Scheibenabstand an einer beliebigen radialen Position R .

Die Radien (Halbmesser) beziehen sich jeweils auf das Zentrum des ringförmigen Arbeitsspalts, das üblicherweise auf der Drehachse der mindestens einen rotierend angetriebenen Arbeitsscheibe liegt. Die Radien geben als Vektoren jeweils eine radiale Position an. Die Abstandsmessung und damit der Abstand zwischen den Arbeitsflächen der Arbeitsscheiben berücksichtigt dabei (indirekt) auch einen etwaig vorgesehenen Arbeitsbelag, da dieser den gemessenen Abstand zwischen den Arbeitsflächen der Arbeitsscheiben beeinflusst. Unter der Annahme, dass die

- 6 -

Arbeitsscheibenoberflächen in radialer Richtung einer Geraden entsprechen, kann aus den Messsignalen zweier radial beabstandeter Abstandssensoren mit der folgenden Gleichung der Abstand der beiden Arbeitsscheiben zueinander an einer beliebigen radialen Position berechnet werden:

$$D(R) = D_1 + (R - R_1) * \frac{D_2 - D_1}{R_2 - R_1} \quad \text{Gl. 1}$$

Durch die erfindungsgemäße Kombination zweier radial verteilter Sensorsignale ist es möglich, beim Rückschluss auf die Werkstückdicke Fehler zu erkennen und zu kompensieren, die durch einen nicht parallelen Arbeitsspalt verursacht werden. Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass sich mit einem einzelnen Abstandssensor eine Werkstückdicke nicht zuverlässig bestimmen lässt, da der Arbeitsspalt im Betrieb praktisch immer von der Parallelität abweicht, sei dies erwünscht oder nicht. In radialer Richtung ergeben sich also immer unterschiedliche Abstandsmesswerte. Durch die erfindungsgemäße Verknüpfung der von radial zueinander beabstandeten Abstandssensoren gemessenen Werte kann dagegen auch bei einem nicht parallelen Arbeitsspalt in präziser Weise auf die tatsächliche Werkstückdicke rückgeschlossen werden. Insbesondere kann aus den gemessenen Abstandswerten auf einen für die Werkstückdicke auch bei veränderter Spaltgeometrie charakteristischen Arbeitsscheibenabstand bzw. eine charakteristische Spaltbreite und damit auf die tatsächliche Werkstückdicke rückgeschlossen werden. Dadurch wird die Qualität bei der Werkstückbearbeitung erfindungsgemäß erhöht.

Gemäß einer Ausgestaltung kann aus den gemessenen Abständen der Abstand zwischen den Arbeitsscheiben an einem Ort am inneren oder äußeren Rand des Arbeitsspalts ermittelt werden und aus dem so ermittelten Abstandswert auf die Dicke des in dem Arbeitsspalt bearbeiteten mindestens einen Werkstücks

- 7 -

geschlossen werden. Dieser Ausgestaltung liegt die Annahme zugrunde, dass die geringste Spaltbreite entweder am Innen- oder am Außenrand der Arbeitsscheiben auftritt und diese die tatsächliche momentane Werkstückdicke repräsentiert, da das Werkstück diesen engsten Bereich des Arbeitsspalts während seiner Bearbeitung regelmäßig passieren muss und folglich nicht dicker sein kann. Es ist dabei auch möglich, sowohl den Abstand am inneren Rand der Arbeitsscheibe als auch am äußeren Rand der Arbeitsscheibe zu ermitteln und für den die Werkstückdicke repräsentierenden Abstandswert den kleineren der so ermittelten Werte anzunehmen. Der Abstand der Arbeitsscheiben am inneren bzw. äußeren Rand des Arbeitsspalts berechnet sich nach den folgenden Gleichungen:

$$D_i = D(R_i) = D_1 + (R_i - R_1) * \frac{D_2 - D_1}{R_2 - R_1} \quad \text{Gl. 2}$$

$$D_a = D(R_a) = D_1 + (R_a - R_1) * \frac{D_2 - D_1}{R_2 - R_1} \quad \text{Gl. 3}$$

Nach einer anderen Ausgestaltung kann aus den gemessenen Abständen der Abstand zwischen den Arbeitsscheiben an einem Ort ermittelt werden, dessen Radius dem Mittelwert aus dem Radius des inneren Rands des Arbeitsspalts und des äußeren Rands des Arbeitsspalts entspricht, und aus dem so ermittelten Abstand auf die Dicke des in dem Arbeitsspalt bearbeiteten mindestens einen Werkstücks geschlossen werden. Bei dieser Ausgestaltung wird ein die Werkstückdicke repräsentierender Abstandswert beispielsweise durch die folgende Gleichung berechnet:

$$D_m = D(R_m) = D_1 + \left(\frac{R_i + R_a}{2} - R_1 \right) * \frac{D_2 - D_1}{R_2 - R_1} \quad \text{Gl. 4}$$

- 8 -

Diese Ausgestaltung geht von der Erkenntnis aus, dass die Werkstückdicke weder der Spaltbreite am inneren noch am äußeren Rand des Arbeitsspalts entspricht, sondern aufgrund einer gewissen Nachgiebigkeit des Arbeitsbelags, beispielsweise eines Poliertuchs, und damit eines Zusammendrücken des Arbeitsbelags durch das Werkstück sowie einer Bewegung des Werkstücks über die gesamte Breite der Arbeitsscheiben gerade dem Scheibenabstand am Ort des mittleren Arbeitsscheibenradius entspricht.

Nach einer weiteren Ausgestaltung kann vorgesehen sein, dass die Arbeitsfläche zumindest einer der Arbeitsscheiben in eine konvexe oder eine konkave Form verstellt werden kann und aus den gemessenen Abständen der Abstand zwischen den Arbeitsscheiben an einem Ort ermittelt wird, an dem sich der Abstand zwischen den Arbeitsscheiben bei einer Verstellung der mindestens einen Arbeitsscheibe in eine konvexe oder eine konkave Form nicht ändert, und aus dem so ermittelten Abstand auf die Dicke des in dem Arbeitsspalt bearbeiteten mindestens einen Werkstücks geschlossen wird. Mindestens eine der Arbeitsscheiben kann bei dieser Ausgestaltung also verstellt werden, so dass ihre Arbeitsfläche eine leicht konkave oder konvexe Form annimmt und die Spaltgeometrie entsprechend von der Planparallelität abweicht. Dazu kann eine geeignete Verstelleinrichtung vorgesehen sein, wie sie beispielsweise aus DE 10 2006 037 490 A1 bekannt ist. Dieser Ausgestaltung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass sich bei jeder Bearbeitung aufgrund der eingebrachten Prozesswärme eine mehr oder weniger starke Verformung der Arbeitsscheiben und damit Veränderung der Spaltgeometrie einstellt. Dadurch wiederum kommt es zu Veränderungen der gemessenen Abstandswerte im Zuge der Bearbeitung, die nicht allein auf die Abnahme der Werkstückdicke durch den abrasiven Bearbeitungsprozess zurückzuführen sind. Daher wird bei dieser Ausgestaltung gerade der Abstand an dem radialen Ort ermittelt, bei dem eine solche Veränderung der Spaltgeometrie keine

- 9 -

Abstandsänderung bewirkt. Es handelt sich bei diesem Ort also um den Dreh- bzw. Schwenkpunkt einer erwünschten oder unerwünschten Verformung der Arbeitsflächen. Diese Ausgestaltung erlaubt eine noch präzisere Bestimmung der Werkstückdicke, wobei der Radius, bei dem der zu ermittelnde Abstandswert vorliegt, von der einzelnen Bearbeitungsmaschine sowie den jeweiligen Bearbeitungsparametern abhängt. Der Radius, für den die Abstandsänderung bei einer Veränderung der Spaltgeometrie Null ist, liegt dabei nicht notwendigerweise in der Mitte des ringförmigen Arbeitsspalts. Er kann vorab im Rahmen einer Kalibrierung der Bearbeitungsmaschine mit einer entsprechenden Verstellvorrichtung für den Arbeitsspalt ermittelt werden. So wurde beobachtet, dass eine Veränderung der Spaltgeometrie zu einer charakteristischen Veränderung der Messwerte zweier radial beabstandeter Abstandssensoren führt. Entsprechend kann nach einer weiteren Ausgestaltung vorgesehen sein, dass der Ort, an dem sich der Abstand zwischen den Arbeitsscheiben bei einer Verstellung der mindestens einen Arbeitsscheibe in eine konvexe oder eine konkave Form nicht ändert, ermittelt wird, indem die mindestens eine Arbeitsscheibe in eine konkave und/oder eine konvexe Form verstellt wird, dabei eine Änderung des Abstands der Arbeitsscheiben an den Messorten gemessen wird und daraus der Radius des Orts bestimmt wird, an dem sich der Abstand zwischen den Arbeitsscheiben bei einer Verstellung der mindestens einen Arbeitsscheibe nicht ändert. Sind die bei einer definierten Verstellung des Arbeitsspalts an den beiden radial beabstandeten Messorten auftretenden Abstandsänderungen durch Messung ermittelt worden, kann der Radius, für den die Abstandsänderung bei einer Veränderung der Spaltgeometrie gerade Null ist mit der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$R_s = \frac{\Delta D_2 * R_1 + \Delta D_1 * R_2}{\Delta D_1 + \Delta D_2} \quad \text{Gl. 5}$$

- 10 -

Der die Werkstückdicke repräsentierende Abstandswert kann dann berechnet werden aus dem Abstand der Arbeitsscheiben bei dem Radius R_s :

$$D_s = D(R_s) = D_1 + (D_2 - D_1) * \frac{\Delta D_1}{\Delta D_1 + \Delta D_2} \quad \text{Gl. 6}$$

Nach einer weiteren Ausgestaltung kann aus den gemessenen Abständen ein Abstand zwischen den Arbeitsscheiben an einer Mehrzahl von zu den Messorten radial beabstandeten Orten ermittelt werden, die so ermittelten Abstände mit einer die radiale Aufenthaltswahrscheinlichkeit der Werkstücke an den den ermittelten Abständen zugeordneten Orten im Zuge ihrer Bearbeitung in dem Arbeitsspalt repräsentierenden Größe gewichtet werden und auf die Werkstückdicke aus dem Mittelwert der gewichteten Abstände geschlossen werden. Die bestimmten Abstandsorte können in radialer Richtung gleichmäßig über den Arbeitsspalt verteilt sein. Bei dieser Ausgestaltung wird also aus den gemessenen Abstandswerten zunächst für mehrere verschiedene Radien der jeweils resultierende Arbeitsscheibenabstand berechnet. Es wird dann die mittlere radiale Aufenthaltswahrscheinlichkeit der Werkstücke in dem Arbeitsspalt berücksichtigt. Die Werkstücke bewegen sich im Zuge ihrer Bearbeitung durch den Arbeitsspalt hindurch. Abhängig von der konkreten Ausgestaltung und Geometrie der Maschine, wie z.B. Werkstückgröße, Arbeitsspaltgröße etc. sowie den Bearbeitungsparametern, wie z.B. Rotationsgeschwindigkeit der Arbeitsscheibe(n) und Träger halten sich die Werkstücke an unterschiedlichen Orten des Arbeitsspalts unterschiedlich häufig auf. Eine detaillierte Beschreibung der radialen Aufenthaltswahrscheinlichkeit sowie deren Berechnung findet sich in T. Ardelt „Einfluss der Relativbewegung auf den Prozess und das Arbeitsergebnis beim Planschleifen mit Planetenkinetik“, ISBN 3-8167-5609-3 (T. Ardelt). Bei dieser Ausgestaltung werden die an unterschiedlichen Radien bestimmten Abstandswerte also mit der mittleren radialen

- 11 -

Aufenthaltswahrscheinlichkeit an den entsprechenden Radien bzw. gemäß T. Ardelt mit der dort definierten bezogenen Bahnlängenverteilung gewichtet. Die tatsächliche Werkstückdicke kann dann als arithmetisches Mittel sämtlicher gewichteter radialer Scheibenabstände bestimmt werden. Dieser Ausgestaltung der Erfindung liegt die Annahme zugrunde, dass die Werkstückdicke den Arbeitsscheibenabständen eher an solchen Orten entsprechen, an denen sich die Werkstücke während ihrer Bearbeitung am häufigsten aufhalten.

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung kann das erfindungsgemäße Verfahren wiederholt durchgeführt werden, ein zeitlicher Verlauf der Werkstückdicke aufgenommen werden und aus dem zeitlichen Verlauf ein Endzeitpunkt für die Werkstückbearbeitung ermittelt werden. Es kann dann beispielsweise aus dem zeitlichen Verlauf der als Werkstückdicke bestimmten Abstandswerte der Abschaltzeitpunkt der Bearbeitung präzise festgelegt werden. Aufgrund der erfindungsgemäß erhöhten Präzision und geringeren Fehleranfälligkeit ist es möglich, aus dem zeitlichen Kurvenverlauf der Werkstückdicke Rückschlüsse auf die Vorgänge in dem Arbeitsspalt während der Bearbeitung zu ziehen. Dabei können im Wesentlichen zwei stabile Betriebszustände beobachtet werden. Der erste Betriebszustand ist von einem weitgehend gleichmäßigen Materialabtrag und einer entsprechenden konstanten Dickenabnahme der Werkstücke gekennzeichnet. Dieser Betriebszustand zeigt sich in dem Kurvenverlauf als Gerade mit einer durch die Abtragsrate bestimmten (negativen) Steigung. Der zweite Betriebszustand wird erreicht, wenn im Wesentlichen kein weiterer Materialabtrag der Werkstücke mehr erfolgt, da diese beispielsweise die Dicke der sie aufnehmenden Träger oder Läuferscheiben erreicht haben. Dieser Bereich zeigt sich in dem zeitlichen Verlauf entsprechend als eine Gerade mit der Steigung Null. Von besonderem Interesse ist der Übergang zwischen diesen beiden Betriebszuständen. Je nach der gewählten Bearbeitungsstrategie kann in diesem Übergangsbereich die Bearbeitung beendet

- 12 -

werden. Es kann entsprechend nach einer weiteren Ausgestaltung vorgesehen sein, dass der Endzeitpunkt als der Zeitpunkt ermittelt wird, an dem sich die erste mathematische Ableitung des aufgenommenen zeitlichen Verlaufs um mehr als einen vorgegebenen Grenzwert ändert. Die mathematische Ableitung des Verlaufs ändert sich gerade beim Übergang zwischen den beiden beschriebenen Betriebszuständen. Der dabei vorgegebene Grenzwert kann selbstverständlich auch Null sein. Er wird aber meist einen von Null verschiedenen Wert annehmen. So ändert sich die mathematische Ableitung auch schon vor dem Übergang zwischen den beiden Betriebszuständen geringfügig im Rahmen einer normalen Mess- und/oder Bearbeitungsfluktuation. Um eine solche geringfügige Änderung unberücksichtigt zu lassen, wird der Grenzwert vorgegeben. Durch geeignete Wahl des Grenzwerts kann beispielsweise der Zeitpunkt, zu dem sich die Abtragsrate signifikant zu verringern beginnt, bereits als Bezugspunkt für ein Ende der Bearbeitung herangezogen werden. Es ist aber auch denkbar, die Bearbeitung für eine gewisse Zeit über das Erreichen des Bezugspunktes hinaus fortzusetzen, um die Werkstücke mit einer geringeren Dicke auszubilden. Auf diese Weise werden die Ebenheit der Werkstückoberflächen optimiert. Entsprechend kann der Endzeitpunkt als ein Zeitpunkt ermittelt werden, der um eine bestimmte Zeitdauer nach dem Zeitpunkt folgt, an dem sich die erste Ableitung des aufgenommenen zeitlichen Verlaufs um mehr als den vorgegebenen Grenzwert ändert. Die Dauer der Prozessfortführung nach der signifikanten Änderung der ersten Ableitung entscheidet über die Dicke der Werkstücke nach der Bearbeitung.

Die Arbeitsflächen der Arbeitsscheiben weisen üblicherweise einen Arbeitsbelag auf, z.B. einen Polierbelag (ein Poliertuch oder Pad) oder Ähnliches. Die Dicke der Arbeitsbeläge ist bei der Bestimmung der Werkstückdicke entsprechend zu berücksichtigen, z.B. indem diese von dem aus den gemessenen Abstandswerten berechneten Abstandswert abgezogen wird. Allerdings ändert sich die Dicke der

- 13 -

Arbeitsbeläge verschleißbedingt ständig. Da bei der vorgenannten Ausgestaltung die Bestimmung des Endzeitpunkts der Bearbeitung über die Dicke der die Werkstücke aufnehmenden Träger, beispielsweise der Läuferscheiben, erfolgt, ist diese Art der Prozesssteuerung unabhängig von der Dicke der verwendeten Arbeitsbeläge auf den Arbeitsscheiben und insofern auch unempfindlich gegenüber einer Abnahme der Arbeitsbelagdicke aufgrund von Verschleiß. Aufwendige Kalibrierverfahren, um einen solchen Verschleiß zu berücksichtigen, wie sie beim Stand der Technik vorgesehen werden, sind daher nicht erforderlich. Aus der Reihe der einzelnen Messwerte des Abstandsmesssystems kann der jeweilige Endpunkt durch numerische Verfahren bestimmt werden.

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung kann vorgesehen sein, dass die Abstandsmessung an den Messorten erfolgt, indem der Abstand an dem jeweiligen Messort während einer oder mehreren Umdrehungen der mindestens einen drehend angetriebenen Arbeitsscheibe mehrfach gemessen wird und aus dem Messverlauf eine Kenngröße ermittelt wird und diese Kenngröße mit einer Referenzkenngröße verglichen wird. Die Messung der Abstände kann dabei natürlich auch kontinuierlich erfolgen. Die Kenngröße kann beispielsweise der Mittelwert des Verlaufs der gemessenen Abstandswerte sein. Beim Stand der Technik wird davon ausgegangen, dass eine Schwankung eines Messsignals eines in eine der Arbeitsscheiben integrierten Abstandssensors, beispielsweise eines Wirbelstromsensors, während der Drehung der Arbeitsscheiben durch mechanische Ungenauigkeiten der Scheiben bewirkt ist. Auf dieser Grundlage schlägt der Stand der Technik vor, nur bei einer bestimmten Stellung der Arbeitsscheiben kurzzeitig und periodisch den Abstand zu messen. Untersuchungen der Anmelderin haben aber überraschenderweise gezeigt, dass die Schwankungen im Sensorsignal nicht mit mechanischen Ungenauigkeiten allein erklärbar sind. Vielmehr betragen die Signalschwankungen ein Vielfaches dessen, was mit anderen Messmethoden durch

- 14 -

mechanische Änderungen des Arbeitsspalts erklärbar ist. Die Erklärung ist vielmehr darin zu sehen, dass ein Wirbelstromsensor stets elektromagnetische Eigenschaften des Materials erfasst, welches er misst. Das Sensorsignal eines solchen Sensors wird also einerseits durch den Abstand und andererseits durch elektromagnetische Eigenschaften der Arbeitsscheibe beeinflusst, die beispielsweise durch Herstellungstoleranzen geringfügig fluktuieren. Wird entsprechend eine Arbeitsscheibe unter einem solchen Wirbelstromsensor gedreht, misst der Sensor auf der dabei erfassten Kreisbahn einen Signalverlauf, der charakteristisch für jede Scheibe ist und als sogenannter „magnetischer Fingerabdruck“ bezeichnet werden kann. Dieser magnetische Fingerabdruck überlagert das Messsignal. Diese Problematik wird beim Stand der Technik nicht gelöst. Insbesondere sind Fluktuationen durch den magnetischen Fingerabdruck derart hochfrequent, dass sie im Bereich weniger Millimeter zu signifikanten Amplitudenänderungen des Messsignals führen können. Eine Messung in bestimmten Winkelstellungen der Arbeitsscheibe, wie im Stand der Technik vorgeschlagen, kann solche Genauigkeiten nicht liefern. Die Erfindung schlägt nach dieser Ausgestaltung daher vor, beispielsweise während einer Kalibrierung der Doppelseitenbearbeitungsmaschine für eine oder mehrere Arbeitsscheibenumdrehungen den magnetischen Fingerabdruck aufzunehmen und daraus eine Kenngröße, beispielsweise den Mittelwert, als Referenzkenngröße zu berechnen. Während eines anschließenden Bearbeitungsvorganges wird ebenfalls für jeweils eine oder mehrere Scheibenumdrehungen ein Abstandsmesssignal aufgenommen und daraus wiederum eine Kenngröße, beispielsweise der Mittelwert berechnet. Aus der Differenz der aktuellen Kenngröße und der Referenzkenngröße kann dann der gesuchte Abstandswert ermittelt werden. Da die Messung damit über die Dauer (einer oder mehrerer Scheibenumdrehungen) und nicht mehr über den Ort (Lage der Scheiben zueinander) bestimmt ist, kann sie durch den bei solchen Maschinen ohnehin vorhandenen Drehzahlgeber in Verbindung mit einer Zeitmessung gesteuert werden.

- 15 -

Zusätzliche Winkelgeber sind nicht erforderlich. Die Vorteile dieser Ausgestaltung werden grundsätzlich selbstverständlich auch bei einer Abstandsmessung an nur einem radialen Ort des Arbeitsspalts verwirklicht. Bei den erfindungsgemäß zwei radial beabstandeten Messorten wird jedoch eine weitere Verbesserung der Messgenauigkeit erreicht.

Nach einer weiteren besonders praxisgemäßen Ausgestaltung kann der mindestens eine Träger mindestens eine Läuferscheibe sein, die mindestens eine Ausnehmung aufweist, in der das mindestens eine zu bearbeitende Werkstück aufgenommen wird, und die mittels einer Abwälzvorrichtung, beispielsweise einer Zahnkranzanordnung, in Rotation versetzt wird, wodurch das mindestens eine in der Läuferscheibe aufgenommene Werkstück sich entlang einer zyklodischen Bahn in dem Arbeitsspalt bewegt. Mit solchen an sich bekannten Läuferscheiben ist eine besonders präzise Werkstückbearbeitung möglich.

In einer weiteren besonders praxisgemäßen Ausgestaltung kann der Abstand zwischen den Arbeitsscheiben mit mindestens zwei an radial beabstandeten Messorten des Arbeitsspalts in einer der Arbeitsscheiben angeordneten Wirbelstromsensoren gemessen werden. Derartige Sensoren stellen zuverlässige Abstandsmessungen bereit und sind in Doppelseitenbearbeitungsmaschinen oftmals bereits zu anderen Zwecken, insbesondere der Regelung eines planparallelen Spalts, ohnehin vorgesehen.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird nachfolgend anhand von Figuren näher erläutert. Es zeigen schematisch:

Fig. 1 einen Ausschnitt einer Doppelseitenbearbeitungsmaschine zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens in einer vertikalen Schnittansicht,

- 16 -

- Fig. 2 einen vergrößerten Ausschnitt der Doppelseitenbearbeitungsmaschine aus Fig. 1,
Fig. 3 den Ausschnitt aus Fig. 2 in einer weiteren Darstellung,
Fig. 4 ein Diagramm mit einer die radiale Aufenthaltswahrscheinlichkeit eines Werkstücks in dem Arbeitsspalt repräsentierenden Größe, und
Fig. 5 ein Diagramm mit einem zeitlichen Verlauf eines die Werkstückdicke während der Bearbeitung repräsentierenden Arbeitsscheibenabstands.

Soweit nichts anderes angegeben ist, bezeichnen in den Figuren gleiche Bezugszeichen gleiche Gegenstände. In Fig. 1 ist ein Teil einer Doppelseitenbearbeitungsmaschine, in dem Beispiel einer Doppelseitenpoliermaschine, gezeigt. Die Maschine weist eine ringförmige obere Trägerscheibe 12, sowie eine der oberen Trägerscheibe 12 gegenüberliegend angeordnete, ebenfalls ringförmige untere Trägerscheibe 14 auf. An der oberen und unteren Trägerscheibe 12, 14 ist eine ringförmige obere Arbeitsscheibe 16 und eine ringförmige untere Arbeitsscheibe 18 gehalten. Die Arbeitsscheiben 16, 18 weisen jeweils eine ringförmige Arbeitsfläche 20, 22 auf, die zwischen sich einen ebenfalls ringförmigen Arbeitsspalt 24 begrenzen. Mindestens eine der Trägerscheiben 12, 14 ist dabei in nicht näher dargestellter Weise mit einem Antrieb verbunden, mit dem die Trägerscheibe 12, 14 und damit die ihr zugeordnete Arbeitsscheibe 16, 18 um die in Fig. 1 bei 25 gezeigte Drehachse drehend angetrieben werden können. Insbesondere können die Träger- und damit die Arbeitsscheiben gegenläufig rotieren. In dem Arbeitsspalt 24 sind in dem vorliegenden Beispiel mehrere nicht gezeigte, jedoch an sich bekannte Läuferscheiben angeordnet, die über eine Zahnkranzanordnung bei einer Drehung der Arbeitsscheiben ebenfalls in Rotation versetzt werden. Sie besitzen jeweils Ausnehmungen für in dem Arbeitsspalt 24 zu bearbeitende Werkstücke, beispielsweise Wafer. Durch die Rotation der Läuferscheiben werden die darin aufgenommenen Wafer entlang zyklodischer Bahnen in dem Arbeitsspalt 24

- 17 -

bewegt. Für die Bearbeitung werden die relativ zueinander rotierenden Arbeitsscheiben 16, 18 mit einer Anpresskraft gegeneinander gedrückt und die schwimmend in den Läuferscheiben gehaltenen Werkstücke doppelseitig zwischen den Arbeitsscheiben 16, 18 bearbeitet, beispielsweise poliert. Die Arbeitsflächen 20, 22 der Arbeitsscheiben 16, 18 können dazu mit geeigneten Arbeitsbelägen, beispielsweise Polierbelägen versehen sein.

In der oberen Arbeitsscheibe 16 sind an zwei radial zueinander beabstandeten Orten zwei Abstandssensoren 26, 28, vorliegend Wirbelstromsensoren 26, 28, angeordnet, die den Abstand zwischen der oberen Arbeitsscheibe 16 und der unteren Arbeitsscheibe 18, insbesondere den Abstand zwischen den Arbeitsflächen 20, 22, messen. In Fig. 1 weiterhin zu erkennen sind verschiedene Radien, so der Radius R_i des inneren Rands des Arbeitsspalts 24, der Radius R_a des äußeren Rands des Arbeitsspalts 24 sowie die Radien R_1 und R_2 , die die radialen Positionen der Wirbelstromsensoren 26, 28 anzeigen. Erfindungsgemäß kann beispielsweise aus den mit den Wirbelstromsensoren 26, 28 gemessenen Abständen zwischen den Arbeitsscheiben 16, 18 ein Abstand an einer beliebigen anderen radialen Position des Arbeitsspalts 24 berechnet werden, beispielsweise am inneren Rand des Arbeitsspalts mit dem Radius R_i oder am äußeren Rand des Arbeitsspalts mit dem Radius R_a . Es kann aber auch beispielsweise der Abstand der Arbeitsscheiben 16, 18 zueinander an einem radialen Ort ermittelt werden, dessen Radius der Mittelwert aus den Radien R_a und R_i ist. Dieser Ort wird also in radialer Richtung zwischen den Radien R_a und R_i liegen. Aus den so berechneten Abständen kann dann beispielsweise auf die Werkstückdicke geschlossen werden. Insbesondere können die jeweils ermittelten Abstände direkt als Werkstückdicke angenommen werden, gegebenenfalls unter Subtraktion einer Arbeitsbelagdicke.

- 18 -

Die in den Figuren dargestellte Doppelseitenbearbeitungsmaschine ist mit einer Verstelleinrichtung versehen (nicht dargestellt), mit der die obere Trägerscheibe und mit ihr die obere Arbeitsscheiben 16 konkav oder konvex verstellt werden kann. In den Fig. 2 und 3 ist in einem vergrößerten Ausschnitt eine konvexe Verstellung der oberen Träger- und Arbeitsscheibe 12, 16 gezeigt. Dabei ist zu erkennen, dass sich der Abstand D_i zwischen den Arbeitsscheiben 16, 18 am inneren Arbeitsspalttrand sowie der Abstand D_a am äußeren Arbeitsspalttrand und damit auch die von den Wirbelstromsensoren 26, 28 gemessenen Abstände D_1 und D_2 entsprechend verändern. In Fig. 3 ist gestrichelt eine leicht konkave Stellung der beiden Arbeitsscheiben 16, 18 zueinander gezeigt. Zu erkennen ist, dass die beiden Wirbelstromsensoren 26, 28 zwischen der gestrichelt gezeigten konkaven Stellung und der in den Fig. 2 und 3 konvexen Einstellung unterschiedliche Abstandsänderungen ΔD_1 und ΔD_2 messen. Weiterhin ist zu erkennen, dass an einer radialen Position R_s keine Änderung des Abstands bei einer Verstellung des Arbeitsspalts eintritt. An diesem Schwenk- oder Drehpunkt der oberen Arbeitsscheibe 16 erfolgt bei einer Veränderung der Spaltgeometrie also keine Änderung der Arbeitsspaltbreite. Dies kann ausgenutzt werden, indem aus den Messsignalen der Wirbelstromsensoren 26, 28 gerade der Abstand zwischen den Arbeitsscheiben 16, 18 an der (beispielsweise zuvor im Rahmen einer Kalibrierung ermittelten) radialen Position R_s berechnet wird und dieser Abstand als Dicke der in dem Werkstück in dem Arbeitsspalt 24 bearbeiteten Werkstücke angenommen wird.

In Fig. 4 ist eine die radiale Aufenthaltswahrscheinlichkeit der Werkstücke in dem Arbeitsspalt 24 während ihrer Bearbeitung repräsentierende Größe s' gezeigt, vorliegend die bezogene Bahnlängenverteilung. Die Größe s' ist über dem Radius R gezeigt. Gestrichelt gezeichnet sind die den Arbeitsspalt 24 begrenzenden inneren und äußeren Radien R_i und R_a . Es ist zu erkennen, dass sich die Werkstücke vermehrt im Bereich des inneren Radius aufhalten. Diese Erkenntnis kann genutzt

- 19 -

werden, um an einer Mehrzahl von beispielsweise gleichmäßig verteilten radialen Positionen aus den Messsignalen der Wirbelstromsensoren 26, 28 den Abstand zwischen den Arbeitsscheiben zu berechnen, die jeweiligen Abstände mit der in Fig. 4 aufgetragenen, die radiale Aufenthaltswahrscheinlichkeit angegebenden Größe s' zu gewichten und aus diesen gewichteten Abständen das arithmetische Mittel als tatsächliche Werkstückdicke zu bilden.

Fig. 5 zeigt einen zeitlichen Verlauf eines erfindungsgemäß bestimmten Arbeitsscheibenabstands an einem radialen Ort des Arbeitsspalts, der die Werkstückdicke während der Bearbeitung repräsentiert. Insbesondere ist der an einem geeigneten radialen Ort ermittelte Arbeitsscheibenabstand D_w über der Zeit t aufgetragen und die zu verschiedenen Zeitpunkten aufgenommenen Messpunkte sind zu der in Fig. 5 dargestellten Kurve verbunden worden. Es ist zu erkennen, dass im Wesentlichen zwei stabile Betriebszustände vorliegen. Vor dem Zeitpunkt t_E findet ein weitgehend konstanter Materialabtrag statt. Es ergibt sich eine Gerade mit einer konstanten negativen Steigung. Um den Zeitpunkt t_E herum erreichen die in dem Arbeitsspalt 24 bearbeiteten Werkstücke die Dicke der sie schwimmend aufnehmenden Läuferscheiben. Entsprechend kommt der Materialabtrag zu einem weitgehenden Ende und der Arbeitsscheibenabstand und also die Werkstückdicke bleiben nach dem Zeitpunkt t_E im Wesentlichen auf einem konstanten Wert, also einer Geraden mit Steigung Null. Der Zeitpunkt t_E kann somit als Endzeitpunkt für die Bearbeitung gewählt werden. Er kann in einfacher Weise ermittelt werden, indem die erste mathematische Ableitung der in Fig. 5 gezeigten Kurve berechnet wird. Sobald sich diese, gegebenenfalls oberhalb eines Messfluktuationen ausblendenden Grenzwerts, signifikant ändert, ist der Zeitpunkt t_E erreicht und die Bearbeitung kann beendet werden. Um die Ebenheit der Werkstücke und insbesondere ihrer Oberflächen optimieren, kann der Bearbeitungsprozess auch

- 20 -

gezielt über den Zeitpunkt t_E für eine bestimmte Zeitdauer hinaus fortgesetzt werden. Dies führt allerdings zu einem erhöhten Verschleiß der Läuferscheiben.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ist in einfacher Weise eine präzise Bearbeitung der Werkstücke auf eine vorbestimmte Dicke möglich.

Ansprüche:

1. Verfahren zum Bearbeiten von flachen Werkstücken in einer Doppelseitenbearbeitungsmaschine, die eine obere und eine untere Arbeitsscheibe (16, 18) aufweist, wobei mindestens eine der Arbeitsscheiben (16, 18) rotierend angetrieben ist und die Arbeitsscheiben (16, 18) jeweils eine ringförmige Arbeitsfläche (20, 22) besitzen, wobei die Arbeitsflächen (20, 22) zwischen sich einen ebenfalls ringförmigen Arbeitsspalt (24) begrenzen, in dem sich mindestens ein Träger befindet, der mindestens ein Werkstück in dem Arbeitsspalt (24) führt, so dass das mindestens eine Werkstück zwischen den Arbeitsflächen (20, 22) doppelseitig bearbeitet wird, dadurch gekennzeichnet, dass an mindestens zwei radial beabstandeten Messorten des Arbeitsspalts (24) der Abstand zwischen den Arbeitsscheiben (16, 18) gemessen wird, und dass aus den gemessenen Abständen ein Abstand zwischen den Arbeitsscheiben (16, 18) an einem die Dicke des in dem Arbeitsspalt (24) bearbeiteten mindestens einen Werkstücks repräsentierenden Ort des Arbeitsspalts (24), insbesondere einem von den Messorten wiederum radial beabstandeten Ort, ermittelt wird und aus dem so ermittelten Abstand auf die Dicke des in dem Arbeitsspalt (24) bearbeiteten mindestens einen Werkstücks geschlossen wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass aus den gemessenen Abständen der Abstand zwischen den Arbeitsscheiben (16, 18) an einem Ort am inneren und/oder äußeren Rand des Arbeitsspalts (24) ermittelt wird und aus dem so ermittelten Abstandswert auf die Dicke des in dem Arbeitsspalt (24) bearbeiteten mindestens einen Werkstücks geschlossen wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass aus den gemessenen Abständen der Abstand zwischen den Arbeitsscheiben (16, 18) an einem Ort ermittelt wird, dessen Radius dem Mittelwert aus dem Radius des inneren Rands

- 22 -

des Arbeitsspalts (24) und des äußeren Rands des Arbeitsspalts (24) entspricht, und aus dem so ermittelten Abstand auf die Dicke des in dem Arbeitsspalt (24) bearbeiteten mindestens einen Werkstücks geschlossen wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Arbeitsfläche (20, 22) zumindest einer der Arbeitsscheiben (16, 18) in eine konvexe oder eine konkave Form verstellt werden kann und aus den gemessenen Abständen der Abstand zwischen den Arbeitsscheiben (16, 18) an einem Ort ermittelt wird, an dem sich der Abstand zwischen den Arbeitsscheiben (16, 18) bei einer Verstellung der mindestens einen Arbeitsscheibe (16, 18) in eine konvexe oder eine konkave Form nicht ändert, und aus dem so ermittelten Abstand auf die Dicke des in dem Arbeitsspalt (24) bearbeiteten mindestens einen Werkstücks geschlossen wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Ort, an dem sich der Abstand zwischen den Arbeitsscheiben (16, 18) bei einer Verstellung der mindestens einen Arbeitsscheibe (16, 18) in eine konvexe oder eine konkave Form nicht ändert, ermittelt wird, indem die mindestens eine Arbeitsscheibe (16, 18) in eine konkave und/oder eine konvexe Form verstellt wird, dabei eine Änderung des Abstands der Arbeitsscheiben (16, 18) an den Messorten gemessen wird und daraus der Radius des Orts bestimmt wird, an dem sich der Abstand zwischen den Arbeitsscheiben (16, 18) bei einer Verstellung der mindestens einen Arbeitsscheibe (16, 18) nicht ändert.
6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass aus den gemessenen Abständen ein Abstand zwischen den Arbeitsscheiben (16, 18) an einer Mehrzahl von zu den Messorten radial beabstandeten Orten ermittelt wird, die so ermittelten Abstände mit einer die radiale Aufenthaltswahrscheinlichkeit der Werkstücke an den den ermittelten Abständen zugeordneten Orten im Zuge ihrer

- 23 -

Bearbeitung in dem Arbeitsspalt (24) repräsentierenden Größe gewichtet werden und auf die Werkstückdicke aus dem Mittelwert der gewichteten Abstände geschlossen wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es wiederholt durchgeführt wird, ein zeitlicher Verlauf der Werkstückdicke aufgenommen wird und aus dem zeitlichen Verlauf der Werkstückdicke ein Endzeitpunkt für die Werkstückbearbeitung ermittelt wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Endzeitpunkt als der Zeitpunkt ermittelt wird, an dem sich die erste mathematische Ableitung des aufgenommenen zeitlichen Verlaufs um mehr als einen vorgegebenen Grenzwert ändert.
9. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Endzeitpunkt als ein Zeitpunkt ermittelt wird, der um eine bestimmte Zeitdauer nach dem Zeitpunkt folgt, an dem sich die erste Ableitung des aufgenommenen zeitlichen Verlaufs um mehr als einen vorgegebenen Grenzwert ändert.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Abstandsmessung an den Messorten erfolgt, indem der Abstand an dem jeweiligen Messort während einer oder mehreren Umdrehungen der mindestens einen drehend angetriebenen Arbeitsscheibe (16, 18) mehrfach gemessen wird und aus dem Messverlauf eine Kenngröße ermittelt wird und diese ermittelte Kenngröße mit einer Referenzkennggröße verglichen wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Kenngröße der Mittelwert des Verlaufs der gemessenen Abstandswerte ist.

- 24 -

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der mindestens eine Träger mindestens eine Läuferscheibe ist, die mindestens eine Ausnehmung aufweist, in der das mindestens eine zu bearbeitende Werkstück aufgenommen wird, und die mittels einer Abwälzvorrichtung in Rotation versetzt wird, wodurch das mindestens eine in der Läuferscheibe aufgenommene Werkstück sich entlang einer zyklodischen Bahn in dem Arbeitsspalt bewegt.
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand zwischen den Arbeitsscheiben (16, 18) mit mindestens zwei an radial beabstandeten Messorten des Arbeitsspalts (24) in einer der Arbeitsscheiben (16, 18) angeordneten Wirbelstromsensoren (26, 28) gemessen wird.