

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2018/108352 A1

(57) Zusammenfassung: Werkzeugmaschine (1) zur spanenden Bearbeitung eines Werkstücks (2) umfassend mindestens einen Sensor (3), der dazu eingerichtet ist ein Schwingungsverhalten der Werkzeugmaschine (1) zu erfassen sowie einen Stabilitätsregler (4), der dazu eingerichtet ist mindestens ein Signal zur Anpassung mindestens eines Prozessparameters (5) der spanenden Bearbeitung in Abhängigkeit des Schwingungsverhaltens der Werkzeugmaschine (1) auszugeben, um den mindestens einen Prozessparameter (5) anzupassen.

Werkzeugmaschine zur spanenden Bearbeitung eines Werkstücks

Die Erfindung betrifft eine Werkzeugmaschine und ein Verfahren zum Betrieb der Werkzeugmaschine, wobei verschiedene Arten von Werkzeugmaschinen umfasst sind und das Verfahren für verschiedene Arten von Werkzeugmaschinen einsetzbar ist, insbesondere Fräsmaschinen oder Drehmaschinen, welche Werkstücke spanend bearbeiten. Die Werkzeugmaschine kann insbesondere auch eine computergesteuert betriebene Werkzeugmaschine (eine sogenannte CNC-Werkzeugmaschine) sein.

Ein ständiges Ziel beim Betrieb von Werkzeugmaschinen ist es, eine möglichst hohe Bearbeitungsgeschwindigkeit zur Bearbeitung eines Werkstücks anwenden zu können. Häufig tritt allerdings das Problem auf, dass die Qualität der Bearbeitung unter einer hohen Bearbeitungsgeschwindigkeit leidet. Ein solcher Qualitätsverlust der Bearbeitung aufgrund einer hohen Bearbeitungsgeschwindigkeit spiegelt sich beispielsweise in einer unregelmäßigen Oberfläche wieder, die sich durch die Bearbeitung des Werkstücks ergibt. Durch eine zu hohe Bearbeitungsgeschwindigkeit entsteht bei der spanenden Bearbeitung häufig eine mit dem bloßen Auge erkennbare Oberflächenstruktur, welche ein regelmäßiges Muster bildet. Eine Ursache für diese Oberflächenstruktur ist der regelmäßige Eingriff des Werkzeugs der Werkzeugmaschine in das Werkstück beim Bearbeitungsprozess.

Gemäß Anspruch 1 wird hier eine besonders vorteilhafte Werkzeugmaschine beschrieben, welche eine hohe Bearbeitungsgeschwindigkeit ermöglicht, wobei gleichzeitig eine sehr gute Werkstückqualität erreicht wird. Gemäß Anspruch 6 wird ein besonders vorteilhaftes Verfahren zum Betrieb dieser Werkzeugmaschine beschrieben. Die abhängigen Ansprüche und die Beschreibung geben weitere bevorzugte Ausführungsvarianten der Werkzeugmaschine und des Verfahrens an. Auf diese Ausführungsvarianten sind die Werkzeugmaschine und das Verfahren jedoch nicht begrenzt.

Besonders bevorzugt ist die Werkzeugmaschine derart eingerichtet, dass die Anpassung mindestens eines Prozessparameters in Abhängigkeit des Schwingungsverhaltens automatisiert durchgeführt werden kann. Dies kann dadurch geschehen, dass ein ausgegebener Prozessparameter von einem Steuergerät unmittelbar zur Anpassung des Betriebs der Werkzeugmaschine verwendet wird.

Die Werkzeugmaschine zur spanenden Bearbeitung weist mindestens einen Sensor auf, der dazu eingerichtet ist, ein Schwingungsverhalten der Werkzeugmaschine zu erfassen. Darüber hinaus weist die Werkzeugmaschine einen Stabilitätsregler auf, der dazu eingerichtet ist, mindestens einen Prozessparameter der spanenden Bearbeitung in Abhängigkeit des Schwingungsverhaltens der Werkzeugmaschine anzupassen.

Der Sensor kann ein beliebiger Schwingungssensor sein, welcher an der Werkzeugmaschine angebracht ist. Besonders bevorzugt ist der Schwingungssensor an einem Rahmen der Werkzeugmaschine angebracht. Dieser Rahmen kann beispielsweise aus Gußeisen sein und sämtliche Komponenten der Werkzeugmaschine halten. Der Schwingungssensor kann aber auch an jedem anderen Ort der Werkzeugmaschine angebracht sein, zum Beispiel an einem verfahrbaren Tisch, auf welchem ein zu bearbeitendes Werkstück angeordnet ist oder an einem Antrieb der Werkzeugmaschine.

Der mindestens eine Prozessparameter, welcher von dem Stabilitätsregler in Abhängigkeit der Schwingung angepasst wird, ist beispielsweise einer der folgenden Parameter

- die Schnitttiefe, mit welcher ein Werkzeug in das Werkstück eingreift angepasst wird ist,
- die Vorschubgeschwindigkeit, mit welcher Werkstück und Werkzeug relativ zueinander bewegt werden, um die Bearbeitung durchzuführen,
- die Spindeldrehzahl, mit welcher das Werkstück oder das Werkzeug der Werkzeugmaschine sich dreht.

Darüber hinaus sind auch andere einstellbare Prozessparameter hier erfasst. Besonders bevorzugt ist es, wenn die Werkzeugmaschine derart ausgeführt ist, dass eine Massenverteilung der Werkzeugmaschine veränderbar ist. Das Schwingungsverhalten der Werkzeugmaschine hängt maßgeblich davon ab, wie sich die Werkzeugmaschine als mechanisch schwingendes System verhält. Die Massenverteilung der Werkzeugmaschine kann bspw. durch an der Werkzeugmaschine eigens hierfür vorgesehene bewegliche Gewichte oder Tanks für flüssige Gewichte (Ballasttanks) angepasst werden. Jeder weitere einstellbare

Parameter der Werkzeugmaschine kann ebenfalls dazu dienen, als Prozessparameter angepasst zu werden.

Der Stabilitätsregler ist bevorzugt Teil eines Steuergeräts oder eines Steuercomputers, welcher die Werkzeugmaschine steuert.

Das Schwingungsverhalten der Schwingungssensoren wird immer in Bezug auf den Kontaktpunkt zwischen Werkzeug und Werkstück ermittelt. Die Sensoren, welche sich (wie weiter oben) an verschiedenen Positionen der Werkzeugmaschine befinden können, ermöglichen es, dieses Schwingungsverhalten an einem Eingriffspunkt zwischen Werkzeug und Werkstück zu bestimmen. Der Eingriffspunkt beschreibt hier den Punkt an dem sich das Werkzeug und das Werkstück bei der spanenden Bearbeitung gegenseitig berühren und an welchem eine Prozesskraft zwischen dem Werkzeug und dem Werkstück wirkt.

Ein Schwingungsübertragungsverhalten zwischen dem Eingriffspunkt und dem jeweiligen Ort eines Sensoren wird hier jeweils als Übertragungsstrecke bzw. Schwingungsübertragungsstrecke bezeichnet. Dieses Schwingungsübertragungsverhalten der Schwingungsübertragungsstrecke wird berücksichtigt, wenn aus der von den Sensoren registrierten Schwingung auf die Schwingung am Eingriffspunkt geschlossen wird. Ein solches Schwingungsübertragungsverhalten dieser Schwingungsübertragungsstrecke ist bspw. in einem Steuergerät in Form eines Modells hinterlegt.

Bevorzugt ist mindestens ein Schwingungssensor an einer Position an der Werkzeugmaschine angeordnet, für welche die Schwingungsübertragungsstrecke besonders gut als Modell abgebildet werden kann.

Der Stabilitätsregler ist bevorzugt dazu eingerichtet, eine Drehzahl einer Spindel der Werkzeugmaschine zu erfassen und bei der Anpassung des mindestens einen Prozessparameters zu berücksichtigen. Die Drehzahl der Spindel ist üblicherweise proportional zu der Anregungsfrequenz, mit welcher die Werkzeugmaschine als schwingendes System bei der Bearbeitung des Werkstücks angeregt wird, wobei diese Proportionalität wesentlich von der Gestaltung des Werkzeugs abhängt. Daher ist es vorteilhaft, diese Drehzahl in dem Stabilitätsregler zu berücksichtigen, um

Prozessparameter so zu definieren, dass der Betrieb der Werkzeugmaschine besonders stabil ist.

Bevorzugt ist in dem Stabilitätsregler eine Entscheidungslogik hinterlegt, die zur Anpassung des mindestens einen Prozessparameters in Abhängigkeit eines auftretenden Schwingungsverhaltens eingerichtet ist.

Diese Entscheidungslogik ist bevorzugt fest in dem Stabilitätsregler hinterlegt. Für ein bestimmtes Schwingungsverhalten (welches üblicherweise durch eine bestimmte Amplitude und eine bestimmte Frequenz gekennzeichnet ist) wird eine vorgesehene (in der Prozesslogik hinterlegte) Veränderung der Prozessparameter durchgeführt. Die in der Entscheidungslogik hinterlegten vorgegebenen Veränderungen der Prozessparameter sind bspw. zuvor mit Hilfe von mit der Werkzeugmaschine durchgeführten Versuchen ermittelt worden bzw. herausgefunden worden.

Die Werkzeugmaschine wird bevorzugt so verwendet, dass der Stabilitätsregler die Bearbeitung eines Werkstücks mit der Werkzeugmaschine aktiv mit Hilfe der Sensoren überwacht (Schritte A) und B). Es erfolgt dann eine Anpassung des mindestens einen Prozessparameters der spanenden Bearbeitung in Abhängigkeit des bei der Überwachung festgestellten Schwingungsverhaltens (Schritt C). Bevorzugt werden die Schritte A) bis C) während der Bearbeitung des Werkstücks kontinuierlich und parallel zueinander durchgeführt.

Eine derartige kontinuierliche Überwachung mit einer Anpassung des mindestens einen Prozessparameters im Betrieb hat den Vorteil, dass eine solche Anpassung auch dafür eingesetzt werden kann, die Werkzeugmaschine bzw. den Betrieb der Werkzeugmaschine an sich durch die Bearbeitung verändernde Schwingungseigenschaften anzupassen. Solche Schwingungseigenschaften verändern sich durch den Betrieb beispielsweise dadurch, dass Massen der Werkzeugmaschine verlagert werden können. Dies kann beispielsweise dadurch geschehen, dass ein Tisch, ein Antrieb und/oder eine Führung der Werkzeugmaschine durch eine fortschreitende Bearbeitung in eine andere Position gelangt und dadurch das Material durch die Bearbeitung abgetragen wird. So verändern sich Massenverteilungen an einem System aus Werkzeugmaschine und Werkstück.

Bevorzugt erfolgt vor dem Betrieb der Werkzeugmaschine zur Bearbeitung eines Werkstücks auch noch eine Testphase, in welcher eine Drehzahl mindestens einer Spindel der Werkzeugmaschine auf eine Testdrehzahl gebracht (insbesondere erhöht) wird (Schritt a)). Dabei wird das Schwingungsverhalten der Werkzeugmaschine über
5 alle Drehzahlen, die bei der kontinuierlichen Erhöhung durchfahren werden, ermittelt wird (Schritt b)). Mit einem derartigen Testlauf kann die Entscheidungslogik aufgebaut werden, welche hinterher zur Anpassung des Prozessparameters dient. Bevorzugt werden die Schritte a) und b) bei der Inbetriebnahme einer Werkzeugmaschine einmalig durchgeführt. Es ist auch möglich, dass diese Schritte a) und b) nach einer
10 Veränderung eines Systems aus Werkzeugmaschine und Werkstück (beispielsweise nach dem Einspannen eines neuen Werkstücks, welches nachfolgend bearbeitet wird) durchgeführt werden, um das Schwingungsverhalten zu ermitteln. Bevorzugt wird die Drehzahl in Schritt a) so langsam und kontinuierlich erhöht, dass Rückschlüsse auf ein eingeschwungenes Verhalten des Systems aus Werkzeugmaschine und Werkstück bei
15 der jeweiligen Drehzahl möglich sind. Die Durchführung einer dem Betrieb vorgeschalteten Testphase mit den Schritten a) und b) ist hier ein Ausführungsbeispiel für eine Vorgehensweise zur Untersuchung des Schwingungsverhaltens der Werkzeugmaschine. Alternativ oder zusätzlich ist es auch möglich, parallel zum Betrieb der Werkzeugmaschine gemäß den A), B) und C) eine (bevorzugt kontinuierliche)
20 Untersuchung des Schwingungsverhaltens durchzuführen. Ggf. kann eine solche Untersuchung des Schwingungsverhaltens parallel zum Betrieb auch in hierfür besonders günstigen Betriebssituationen durchgeführt werden. Durch die Untersuchung des Schwingungsverhaltens werden relevante Parameter gewonnen, die das Schwingungsverhalten, bzw. Schwingungsmuster beschreiben. Bevorzugt werden
25 diese Parameter bzw. Schwingungsmuster in einer Datenbank abgelegt, die zum Aufbau und zur Bereitstellung der beschriebenen Entscheidungslogik verwendet werden kann.

Die Werkzeugmaschine und das Betriebsverfahren können zum Betrieb der Werkzeugmaschine auch als elektronisches Stabilitätsprogramm für eine
30 Werkzeugmaschine bezeichnet werden. Durch eine aktive und kontinuierliche Überwachung der Werkzeugmaschine wird es möglich, ein Schwingen der Werkzeugmaschine aktiv zu vermeiden.

Die Werkzeugmaschine und das Verfahren ermöglichen es insbesondere ideale
35 Prozessparameter für eine hohe Bearbeitungsgeschwindigkeit zu ermitteln und für den

Betrieb der Werkzeugmaschine zu verwenden, welche nur ein geringes Schwingungsverhalten der Werkzeugmaschine bewirken. So kann insbesondere ein Rattern der Werkzeugmaschine vermieden werden. Darüber hinaus wird es ermöglicht nicht gewünschte optische Oberflächenstrukturen zu vermeiden, die bei starken
5 Schwingungen während der Bearbeitung entstehen können. Darüber hinaus kann die Lebensdauer der Werkzeugmaschine erhöht werden.

Die Werkzeugmaschine, das Verfahren sowie das technische Umfeld werden nachfolgend anhand der Figuren näher erläutert. Die Figuren zeigen besonders
10 bevorzugte Ausführungsbeispiele, auf die die Erfindung jedoch nicht begrenzt ist. Es zeigen:

Fig. 1: eine beschriebene Werkzeugmaschine,

15 Fig. 2: ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Betrieb einer Werkzeugmaschine mit einer Entscheidungslogik,

Fig. 3: die Anwendung einer Entscheidungslogik in einem Betrieb der Werkzeugmaschine, und

20 Fig. 1 zeigt eine Werkzeugmaschine 1, welche einen Rahmen 6 aufweist, an welchem ein Antrieb 8 mit einer Spindel 7 und einem darin eingesetzten Werkzeug 10 befestigt ist. Das Werkzeug 10 kann von dem Spindelantrieb 8 über die Spindel 7 mit einer Drehzahl w angetrieben werden. Der Spindelantrieb 8 ist über eine Führung 9
25 verfahrbar. Die Führung 9 kann mit einem Schlittenantrieb 13 verfahren werden. Die Werkzeugmaschine 1 weist darüber hinaus einen Tisch 12 auf, auf welchem ein Werkstück 2 in einem Futter 11 eingespannt ist. Der Tisch 12 kann mittels der Führung 9 in zwei Richtungen (in der Ebene) verfahren werden, um das Werkstück 2 relativ zu dem Werkzeug 10 zu positionieren. Dafür hat die Führung 9 einen Antrieb 13. Die
30 Geschwindigkeit der Bewegung des Werkstücks 2 wird als Vorschubgeschwindigkeit v bezeichnet. Das Werkzeug 10 und das Werkstück 2 befinden sich an Eingriffspunkt 19 mit einer Schnitttiefe s im Eingriff zueinander. Der Eingriffspunkt 19 ist der Punkt an welchem das Werkzeug 10 zur Bearbeitung auf das Werkstück 2 einwirkt. Am Rahmen der Werkzeugmaschine 1 und an dem verfahrbaren Tisch 12 sind jeweils Sensoren 3
35 angeordnet, die Schwingungen der Werkzeugmaschine 1 registrieren und an den als

Steuergerät ausgeführten Stabilitätsregler 4 übermitteln. In Abhängigkeit der gemessenen Schwingungen werden dann vom Stabilitätsregler 4 Prozessparameter festgelegt, mit welchen Antriebe 13 sowie der Spindelantrieb 8 angesteuert werden, um mit den jeweiligen Prozessparametern betriebe zu werden.

5

Fig. 2 zeigt ein Flussdiagramm einer Stabilitätsregelung, die mit dem Stabilitätsregler durchgeführt wird. Der Stabilitätsregler verarbeitet dabei zunächst Informationen hinsichtlich der Geometrie und der Struktur der Werkzeugmaschine und des Werkstücks sowie der Sensorposition an der Werkzeugmaschine (Schritt (i)). Schritt (i) kann zumindest teilweise über eine Eingabeoberfläche erfolgen. Ggf. können in Schritt (i) zusätzlich auch Daten aus einem Datenspeicher bereit gestellt werden. Im oberen rechten Teil des Ablaufdiagramms (Schritte (ii) bis (vii)) werden verschiedene Tests mit der Maschine durchgeführt, um das Schwingungsverhalten der Werkzeugmaschine bei unterschiedlichen Drehzahlen zu analysieren. Dies entspricht im Wesentlichen den Schritten a) und b), die vorgelagert zu den Schritten A) bis C) erfolgen. Schritt (ii) entspricht Schritt a) und beschreibt ein Hochfahren der Spindel bzw. des Spindelantriebs der Werkzeugmaschine. Die Schritte (iii) bis (vii) sind Unterschritte des Schritts b). Schritt (iii) beschreibt ein Messen der resultierenden Schwingungen. Schritt (iv) betrifft eine Nachbearbeitung der gemessenen Schwingungswerte und Schritt (v) ein erneutes Messen vom Schwingungsverhalten. In den Schritten (vi) und (vii) werden die gemessenen Schwingungen jeweils im Zeitbereich (Schritt (vi)) und im Frequenzbereich (Schritt (vii)) beurteilt. Diese Beurteilung und Bewertung dient im Wesentlichen dazu festzustellen, ob hier ein instabiles Verhalten mit einem Aufschwingen stattfindet. Wenn ein solches Verhalten auftritt, wird in (viii) eine Mustererkennung durchgeführt, bei welcher das vorliegende Schwingungsmuster mit einem in einer Datenbank hinterlegten Muster verglichen wird. Diese für den Vergleich verwendete Datenbank wird in dem Flußdiagramm durch den Block (xiii) verdeutlicht. In Abhängigkeit dieses Vergleichs mit der Mustererkennung viii wird dann eine geeignete Strategie zur Rückführung der Werkzeugmaschine in einem stabilen Betriebsmodus angewendet. Die Auswahl der geeigneten Strategie erfolgt in Schritt (ix). Je nach ausgewählter Strategie wird zu einem der Schritte (x) bis (xii) gewechselt. Schritt (x) entspricht einer Anpassung der Drehzahl (x). Schritt (xii) entspricht einer Anpassung der Vorschubgeschwindigkeit und Schritt (xi) entspricht einer Anpassung von Vorschubgeschwindigkeit und Drehzahl.

35

Welche Strategie angewendet wird, wird mit der Ergebnisanzeige (xvi) angezeigt, um den Bediener der Werkzeugmaschine über die Abläufe in der Entscheidungslogik der Werkzeugmaschine zu informieren. Diese Ergebnisanzeige kann dann von einem Bediener der Werkzeugmaschine als Vorlage verwendet werden, um die
5 entsprechenden Betriebsparameter (Drehzahl und Vorschub) der Werkzeugmaschine anzupassen, um den stabilen Betrieb tatsächlich wieder umzusetzen. Dies ist insbesondere dann wichtig, wenn die Werkzeugmaschine nicht dazu eingerichtet ist die Anpassung automatisiert vorzunehmen. Eine solche manuelle Anpassung soll hier explizit mit erfasst sein.

Die in (iii) gemessenen Schwingungsinformationen fließen in die Mustersynthesedatenbank (xiii) ein. Der Aufbau Mustersynthesedatenbank (xiii) ist eine der zentralen Aufgaben, die durch die Durchführung der Verfahrensschritte a) und b) erfolgt. Ziel ist es, dass die Mustersynthesedatenbank (xiii) Informationen enthält, die
15 ermöglichen zu entscheiden mit welchem der Schritte (x), (xi) und (xiii) eine auftretende Schwingung effektiv abgebaut werden kann. Die Mustersynthesedatenbank (xiii) kann noch um Daten aus einer Datenbank (xv) ergänzt werden, die prinzipiell mögliche Muster enthält. Diese Datenbank (xv) kann über die Betriebsdauer (Lebenszeit) der Werkzeugmaschine kontinuierlich ergänzt werden. Über den Schritt (xiv) erfolgt eine
20 Zuordnung der jeweiligen in der Mustersynthesedatenbank (xiii) hinterlegten Muster zur jeweils in Schritt (iii) gemessenen Drehzahl.

Fig. 3 zeigt eine Entscheidungslogik 20, wie sie bei Anwendung der Stabilitätsreglung verwendet wird und ein Diagramm in welchem die Schnitttiefe (s) und eine
25 Schnittgeschwindigkeit, die sich als Kombination aus Vorschubgeschwindigkeit (v) und Drehzahl (w) ergibt, aufgetragen sind. In Abhängigkeit von der Schnitttiefe (s) und der die sich aus Vorschubgeschwindigkeit (v) und Drehzahl (w) ergibt nimmt die Logik bestimmte Änderungen vor, wenn ein instabiles Verhalten der Werkzeugmaschine auftritt. Die in Fig. 2 in (xiii) dargestellte Mustersynthesedatenbank beinhaltet im Prinzip
30 für jeden Punkt in dem in Fig. 3 dargestellten Diagramm eine Information, mit welcher Strategie auf ein instabiles Schwingungsverhalten der Werkzeugmaschine reagiert werden soll. In dem Diagramm sind jeweils stabile Bereiche (14), in denen ein stabiler Betrieb der Werkzeugmaschine möglich ist sowie instabile Bereiche (15) in denen kein Stabiler Betrieb möglich ist und ein starkes Schwingen der Werkzeugmaschine im
35 Betrieb erfolgen würde.

Grenzlinien zwischen den stabilen Bereichen (14) und den instabilen Bereichen (15) können vollständig mit Hilfe von Untersuchungen des Schwingungsverhaltens ermittelt werden. Alternativ und/oder zusätzlich ist es aber auch möglich solche Grenzlinien
5 zumindest teilweise zu schätzen. Dies kann beispielsweise dadurch geschehen, dass das Schwingungsverhalten für einzelne Punkte des Diagramms mit Versuchen ermittelt wird und die Grenzlinien zwischen den stabilen Bereichen (14) und den instabilen Bereichen (15) darauf basierend interpoliert werden. Neben dem Schwingungsverhalten an einzelnen Punkten ist es auch möglich eine prinzipielle
10 Kenntnis über den Verlauf dieser Grenzlinien zu nutzen, um eine solche Interpolation besonders effektiv durchführe zu können.

Für jeden Punkt in dem Diagramm ergibt sich aus der Mustersynthesedatenbank eine Vorgabe in welche Richtung (also nach oben oder nach unten) Schnittgeschwindigkeit und Schnitttiefe verändert werden sollten, um möglichst schnell zurück zu stabilem
15 Verhalten der Werkzeugmaschine zu gelangen, wobei gleichzeitig eine hohe Bearbeitungsgeschwindigkeit erreicht wird. Das in Fig. 3 dargestellte Diagramm zeigt stabile Bereiche 14 und instabile Bereiche 15 für den Betrieb der Werkzeugmaschine.

Zu erkennen ist, dass grundsätzlich bei höheren Schnitttiefen in der in Fig. 3 gewählten schematischen Darstellung eher instabiles Verhalten vorliegt. Zu erkennen ist auch ein
20 so intuitiv nicht zu erwartender stabiler Bereich (14), der sehr weit oben wie eine Insel im instabilen Bereich (15) liegt. Durch das beschriebene Verfahren und die beschriebene Werkzeugmaschine wird es möglich Vorschubgeschwindigkeit, Drehzahl und Schnitttiefe bewusst so zu ändern, dass die Werkzeugmaschine bspw. in diesem
25 inselförmigen stabilen Bereich 14 betrieben wird. So wird eine besonders hohe Bearbeitungsgeschwindigkeit bei gleichzeitig hoher Oberflächenqualität des Werkstücks nach der Bearbeitung erreicht werden.

Patentansprüche

1. Werkzeugmaschine (1) zur spanenden Bearbeitung eines Werkstücks (2) umfassend mindestens einen Sensor (3), der dazu eingerichtet ist ein Schwingungsverhalten der Werkzeugmaschine (1) zu erfassen sowie einen Stabilitätsregler (4), der dazu eingerichtet ist mindestens ein Signal zur Anpassung mindestens eines Prozessparameters (5) der spanenden Bearbeitung in Abhängigkeit des Schwingungsverhaltens der Werkzeugmaschine (1) auszugeben, um den mindestens einen Prozessparameter (5) anzupassen.
2. Werkzeugmaschine (1) nach Anspruch 1, wobei der mindestens eine Sensor (3) ein Schwingungssensor ist, welcher an einem Rahmen (6) oder an einem Tisch (12) der Werkzeugmaschine (1) befestigt ist.
3. Werkzeugmaschine (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Stabilitätsregler (4) dazu eingerichtet ist mindestens einen der folgenden Prozessparameter (5) anzupassen:
 - Schnitttiefe (s),
 - Vorschubgeschwindigkeit (v),
 - Spindeldrehzahl (w),
 - Massenverteilung der Werkzeugmaschine (1), und
 - jeder weitere einstellbare Parameter der Werkzeugmaschine (1).
4. Werkzeugmaschine (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Stabilitätsregler (4) dazu eingerichtet ist eine Drehzahl (w) einer Spindel (7) der Werkzeugmaschine (1) zu erfassen und bei der Anpassung des mindestens einen Prozessparameters (5) zu berücksichtigen.
5. Werkzeugmaschine (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei in dem Stabilitätsregler (4) eine Entscheidungslogik (20) zur Anpassung des mindestens einen Prozessparameters (5) in Abhängigkeit eines auftretenden Schwingungsverhaltens hinterlegt ist.

6. Verfahren zum Betrieb einer Werkzeugmaschine (1), insbesondere einer Werkzeugmaschine (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, umfassend zumindest die folgenden Schritte
- 5 A) Spanende Bearbeitung eines Werkstücks (2),
 B) Erfassen eines Schwingungsverhaltens der Werkzeugmaschine (1) mit dem mindestens einen Sensor (3) während Schritt A)
 C) Anpassen mindestens eines Prozessparameters (5) der spanenden Bearbeitung in Abhängigkeit des Schwingungsverhaltens B).
- 10 7. Verfahren nach Anspruch 5, wobei für Schritt C) eine in einem Stabilitätsregler (4) hinterlegte Entscheidungslogik (20) zum Anpassen des mindestens einen Prozessparameters (5) verwendet wird.
- 15 8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei vor Schritt A) folgende Verfahrensschritte stattfinden:
 a) Hochfahren einer Drehzahl (w) mindestens einer Spindel (7) der Werkzeugmaschine (1) auf definierte Drehzahl, und
 b) Erfassen eines Schwingungsverhaltens der Werkzeugmaschine (1).
- 20 9. Verfahren nach einem Patentanspruch 6, wobei die Schritte a) und b) mit verschiedenen Testdrehzahlen durchgeführt werden, um Muster für eine Entscheidungslogik (20) zur Anpassung mindestens eines Prozessparameters (5) zu ermitteln.

Fig. 1

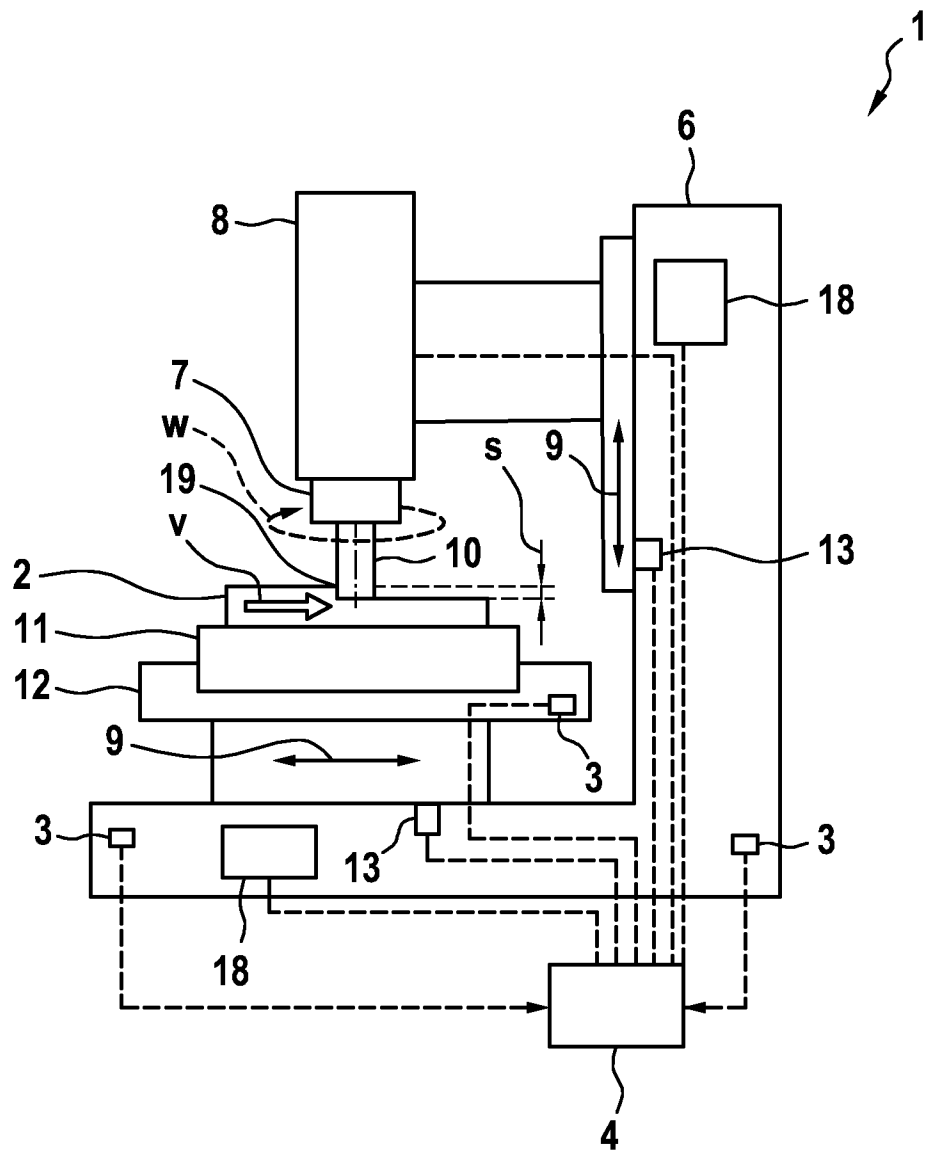
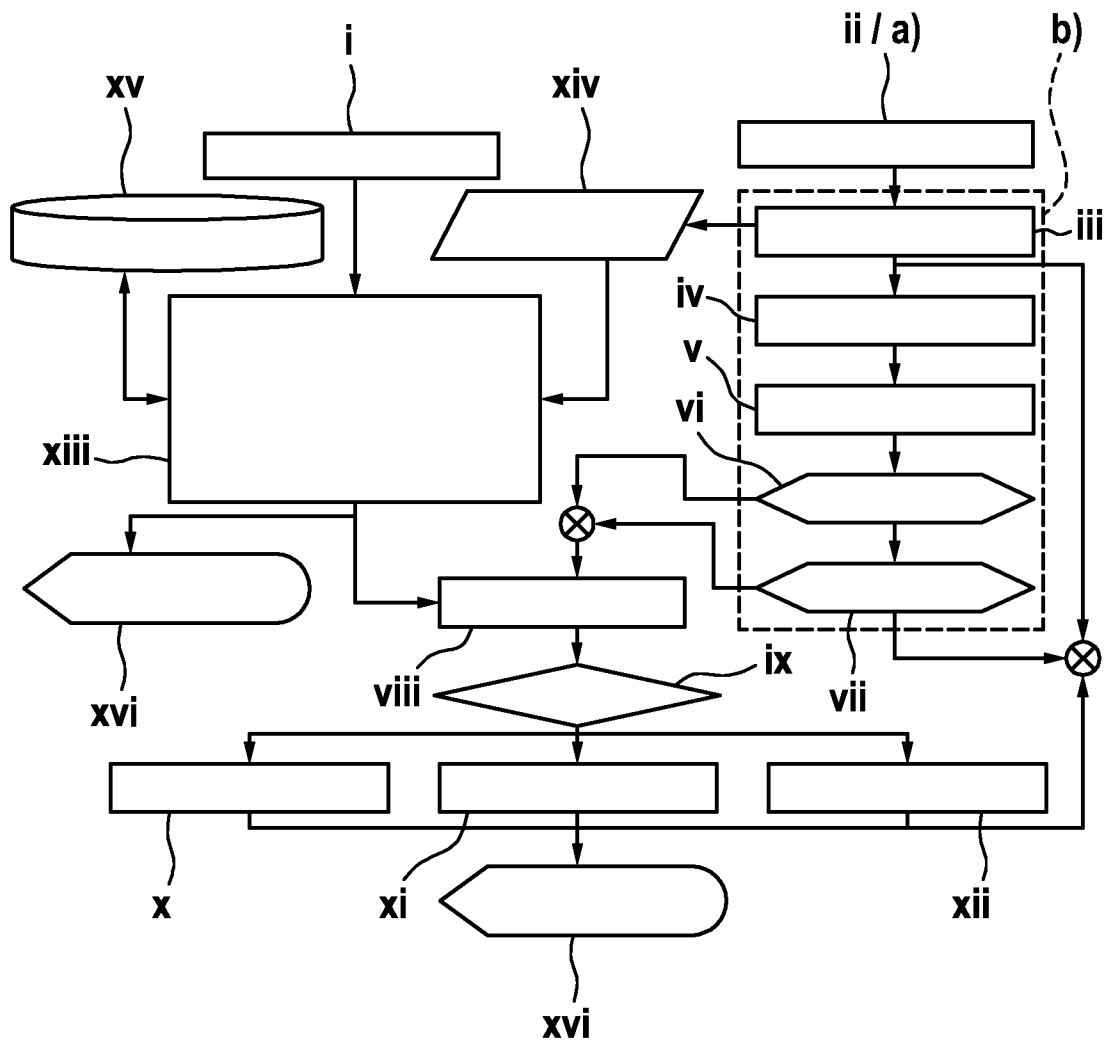
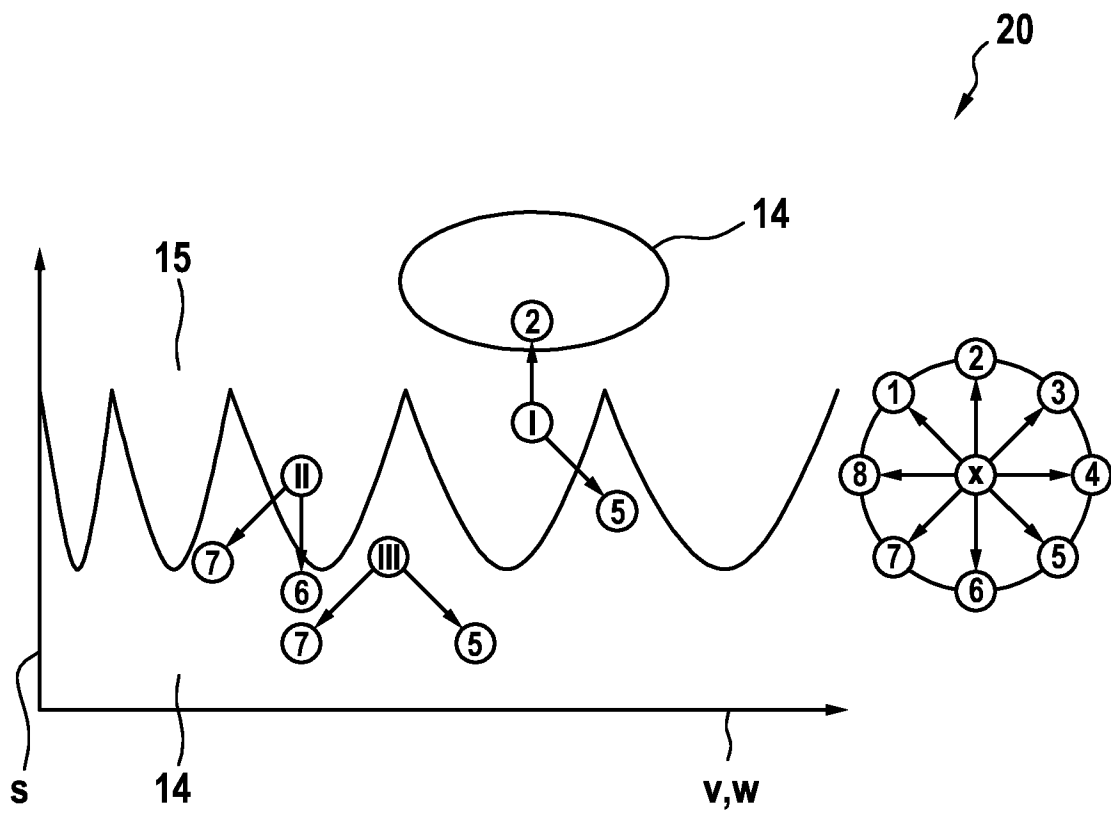


Fig. 2



3 / 3

Fig. 3



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2017/076034

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. B23Q15/12 B23Q17/09
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B23Q G05B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 10 2005 023317 A1 (P&L GMBH & CO KG [DE]) 23 November 2006 (2006-11-23) paragraphs [0008], [0009] paragraphs [0029] - [0032]; figure 2 -----	1-9
X	US 2012/010744 A1 (YAMASHITA TORU [JP] ET AL) 12 January 2012 (2012-01-12) paragraphs [0032] - [0034]; figure 2 -----	1-9
X	DE 10 2009 020246 A1 (RWTH AACHEN [DE]) 11 November 2010 (2010-11-11) paragraphs [0052], [0065] - [0072]; figures 2,3 -----	1-9



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

26 January 2018

Date of mailing of the international search report

06/02/2018

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Groen, Fokke

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/076034

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102005023317 A1	23-11-2006	CN 101180157 A	14-05-2008
		DE 102005023317 A1	23-11-2006
		EP 1890839 A1	27-02-2008
		JP 2008540146 A	20-11-2008
		US 2009013790 A1	15-01-2009
		WO 2006122611 A1	23-11-2006

US 2012010744 A1	12-01-2012	CN 102387892 A	21-03-2012
		DE 112010001558 T5	31-10-2012
		JP 5105102 B2	19-12-2012
		JP 2010247316 A	04-11-2010
		KR 20110126722 A	23-11-2011
		US 2012010744 A1	12-01-2012
		WO 2010116825 A1	14-10-2010

DE 102009020246 A1	11-11-2010	NONE	

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. B23Q15/12 B23Q17/09
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 B23Q G05B

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2005 023317 A1 (P&L GMBH & CO KG [DE]) 23. November 2006 (2006-11-23) Absätze [0008], [0009] Absätze [0029] - [0032]; Abbildung 2 -----	1-9
X	US 2012/010744 A1 (YAMASHITA TORU [JP] ET AL) 12. Januar 2012 (2012-01-12) Absätze [0032] - [0034]; Abbildung 2 -----	1-9
X	DE 10 2009 020246 A1 (RWTH AACHEN [DE]) 11. November 2010 (2010-11-11) Absätze [0052], [0065] - [0072]; Abbildungen 2,3 -----	1-9



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

26. Januar 2018

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

06/02/2018

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Groen, Fokke

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/076034

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102005023317 A1	23-11-2006	CN 101180157 A	14-05-2008
		DE 102005023317 A1	23-11-2006
		EP 1890839 A1	27-02-2008
		JP 2008540146 A	20-11-2008
		US 2009013790 A1	15-01-2009
		WO 2006122611 A1	23-11-2006

US 2012010744 A1	12-01-2012	CN 102387892 A	21-03-2012
		DE 112010001558 T5	31-10-2012
		JP 5105102 B2	19-12-2012
		JP 2010247316 A	04-11-2010
		KR 20110126722 A	23-11-2011
		US 2012010744 A1	12-01-2012
		WO 2010116825 A1	14-10-2010

DE 102009020246 A1	11-11-2010	KEINE	
