



(12) **Patentschrift**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2021 005 641.7**  
 (86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2021/021045**  
 (87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2022/254621**  
 (86) PCT-Anmeldetag: **02.06.2021**  
 (87) PCT-Veröffentlichungstag: **08.12.2022**  
 (43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
 in deutscher Übersetzung: **03.08.2023**  
 (45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **10.04.2025**

(51) Int Cl.: **G05B 19/4155 (2006.01)**  
**B23Q 15/00 (2006.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**Mitsubishi Electric Corporation, Tokyo, JP**

(74) Vertreter:  
**Diehl & Partner Patent- und Rechtsanwaltskanzlei  
 mbB, 80636 München, DE**

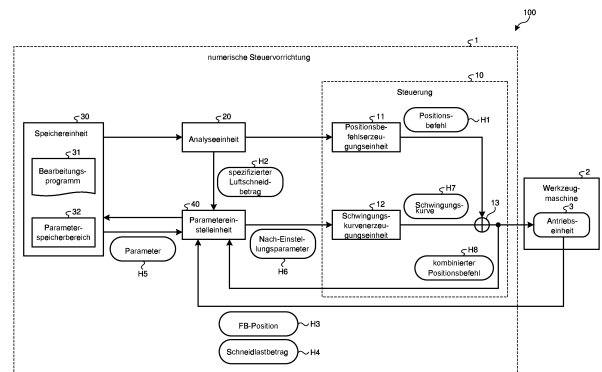
(72) Erfinder:  
**Nakajima, Kazuya, Tokyo, JP**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2007 057 468	A1
DE	10 2016 116 901	A1
EP	2 103 376	B1
JP	5 745 710	B1

(54) Bezeichnung: **Numerische Steuervorrichtung, Lernvorrichtung, Inferenzvorrichtung und numerisches Steuerverfahren**

(57) Hauptanspruch: Numerische Steuervorrichtung (1) zur Bearbeitung eines Werkstücks bei der Durchführung von Vibrationsschneiden, bei dem ein Werkzeug und das Werkstück relativ zueinander schwingen, indem eine erste Achse zum Antreiben des Werkzeugs oder eine zweite Achse zum Antreiben des Werkstücks angetrieben werden, wobei die Vorrichtung (1) umfasst:  
 eine Parametereinstelleinheit (40) zum Einstellen eines Parameters, der in Bezug zu einer Schwingungsgegebenheit für das Vibrationsschneiden während des Vibrationsschneidens steht, und zwar basierend auf einem Betrag einer Schneidlast (H4), die an der ersten Achse oder der zweiten Achse erzeugt wird und die sich während des Vibrationsschneidens ändert; und  
 eine Steuerung (10) zum Steuern des Vibrationsschneidens unter Verwendung des eingestellten Parameters (H6), wobei dann, wenn eine Differenz zwischen einem spezifizierten Luftschneidbetrag (H2), der ein Befehlswert eines Luftschneidbetrags zu einer Zeit ist, zu der das Werkzeug während des Vibrationsschneidens in Bezug auf das Werkstück Luft schneidet, und einem geschätzten Luftschneidbetrag (H9), der ein geschätzter Wert des Luftschneidbetrags ist, besteht, die Parametereinstelleinheit (40) den Parameter berechnet, bei dem sich der geschätzte Luftschneidbetrag (H9) dem spezifizierten Luftschneidbetrag (H2) annähert.



**Beschreibung**

## Bereich

**[0001]** Die vorliegende Offenbarung betrifft eine numerische Steuervorrichtung zum Steuern von Vibrationsschneiden, eine Lernvorrichtung, eine Inferenzvorrichtung und ein numerisches Steuerverfahren.

## Hintergrund

**[0002]** Numerische Steuervorrichtungen steuern Werkzeugmaschinen, die ein Werkstück schneiden, das mit einem Werkzeug gedreht wird. Eine der Werkzeugmaschinen ist eine Maschine, die Vibrationsschneiden durchführt, was ein Schneiden mit einem Werkzeug ist, das mit einer niedrigen Frequenz schwingt. Wenn das Vibrationsschneiden richtig durchgeführt wird, werden Luftschneidbereiche, wo nicht geschnitten wird, zwischen dem Bewegungspfad des Werkzeugs und einem Werkstück erzeugt. Durch das Bereitstellen der Luftschneidbereiche verkürzt die Werkzeugmaschine Späne, die durch das Schneiden erzeugt werden, sodass die Späne von dem Werkstück abfallen können.

**[0003]** Die numerische Steuervorrichtung von Patentliteratur 1 berechnet eine Zeitverzögerung einer hinteren Schwingungsposition in Bezug auf eine vordere Schwingungsposition als eine Phasendifferenz, und zwar basierend auf einem Verhältnis zwischen der Amplitude der Schwingung und einer Werkzeugvorschubgeschwindigkeit in Bezug auf ein Werkstück. Die numerische Steuervorrichtung aus Patentliteratur 1 berechnet einen Bewegungspfad basierend auf der berechneten Phasendifferenz, berechnet einen Schwingungsbewegungsbetrag basierend auf einer Referenz-Schwingungskurve und führt Vibrationsschneiden unter Verwendung des Bewegungspfades und des Schwingungsbewegungsbetrags durch.

## Zitierungsliste

## Patentliteratur

**[0004]** Patentliteratur 1: JP 5 745 710 B1

## Überblick

## Technisches Problem

**[0005]** Bei der in Patentliteratur 1 beschriebenen Technik muss ein Benutzer der numerischen Steuervorrichtung dann, wenn Späne aufgrund des Auftretens einer Folgeverzögerung eines Servomotors oder dergleichen nicht abgeschnitten werden können, einen Parameter, der beim Vibrationsschneiden verwendet wird, einstellen bzw. anpassen.

**[0006]** Die vorliegende Offenbarung wurde in Anbetracht der obigen Ausführungen getätigt, und es ist ein Ziel derselben, eine numerische Steuervorrichtung bereitzustellen, die die Steuerung des Vibrationsschneidens fortsetzen kann, ohne dass ein Benutzer eine Parameteranpassung durchführen muss.

## Lösung des Problems

**[0007]** Um das vorangehend beschriebene Problem zu lösen und das Ziel zu erreichen, stellt die vorliegende Offenbarung eine numerische Steuervorrichtung bereit, um ein Werkstück zu bearbeiten während Vibrationsschneiden durchgeführt wird, bei dem ein Werkzeug und ein Werkstück relativ zueinander schwingen, indem eine erste Achse zum Antreiben des Werkzeugs oder eine zweite Achse zum Antreiben des Werkstücks angetrieben werden, wobei die numerische Steuervorrichtung umfasst: eine Parametereinstelleinheit zum Einstellen eines Parameters, der einen Bezug zu einer Schwingungsgegebenheit für das Vibrationsschneiden aufweist, und zwar basierend auf einem Betrag der Schneidlast, die auf der ersten Achse oder der zweiten Achse erzeugt wird, wenn das Vibrationsschneiden durchgeführt wird; und eine Steuerung zum Steuern des Vibrationsschneidens unter Verwendung des eingestellten Parameters.

## Vorteilhafte Wirkungen der Erfindung

**[0008]** Die numerische Steuervorrichtung gemäß der vorliegenden Offenbarung weist eine Wirkung dahingehend auf, dass sie in der Lage ist, die Vibrationsschneidsteuerung fortzusetzen, ohne dass ein Benutzer eine Parametereinstellung vornimmt.

## Kurzbeschreibung der Zeichnungen

**Fig. 1** ist ein Diagramm, das eine Konfiguration eines Bearbeitungssystems zeigt, das eine numerische Steuervorrichtung gemäß einer Ausführungsform aufweist.

**Fig. 2** ist ein Flussdiagramm, das eine Verarbeitungsprozedur zur Steuerverarbeitung durch die numerische Steuervorrichtung gemäß der Ausführungsform zeigt.

**Fig. 3** ist ein Diagramm, das eine Konfiguration einer Lernvorrichtung zeigt, die in der numerischen Steuervorrichtung gemäß der Ausführungsform enthalten ist.

**Fig. 4** ist ein Diagramm zum Erläutern eines Amplitudenbetrags und eines geschätzten Luftschneidbetrags, der durch die Lernvorrichtung gemäß der Ausführungsform berechnet wird.

**Fig. 5** ist ein Diagramm zum Erläutern eines Amplitudenbetrags und eines geschätzten Luft-

schneidbetrags, der durch die Lernvorrichtung gemäß der Ausführungsform berechnet wird, wenn die Werkzeugvorschubgeschwindigkeit gering ist.

**Fig. 6** ist ein Diagramm zum Erläutern eines Schneidlastbetrags, wenn die Lernvorrichtung gemäß der Ausführungsform keine Luftschneidbereiche detektiert.

**Fig. 7** ist ein Diagramm zum Erläutern eines Schneidlastbetrags, wenn die Lernvorrichtung gemäß der Ausführungsform Luftschneidbereiche detektiert.

**Fig. 8** ist ein Flussdiagramm, das eine Verarbeitungsprozedur zur Lernverarbeitung durch die Lernvorrichtung gemäß der Ausführungsform zeigt.

**Fig. 9** ist ein Diagramm, das eine Konfiguration einer Inferenzvorrichtung zeigt, die in der numerischen Steuervorrichtung gemäß der Ausführungsform enthalten ist.

**Fig. 10** ist ein Flussdiagramm, das eine Verarbeitungsprozedur zur Inferenzverarbeitung durch die Inferenzvorrichtung gemäß der Ausführungsform zeigt.

**Fig. 11** ist ein Diagramm zum Erläutern eines geschätzten Luftschneidbetrags und eines spezifizierten Luftschneidbetrags, wenn ein Nach-Einstellungsparameter, der durch die Inferenzvorrichtung gemäß der Ausführungsform inferiert wurde, beim Vibrationsschneiden verwendet wird.

**Fig. 12** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Hardwarekonfiguration zur Implementierung der numerischen Steuervorrichtung gemäß der Ausführungsform zeigt.

#### Beschreibung von Ausführungsformen

**[0009]** Nachfolgend werden eine numerische Steuervorrichtung, eine Lernvorrichtung, eine Inferenzvorrichtung und ein numerisches Steuerverfahren gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung unter Bezugnahme auf die Zeichnungen im Detail beschrieben.

#### Ausführungsform.

**[0010]** **Fig. 1** ist ein Diagramm, das eine Konfiguration eines Bearbeitungssystems zeigt, das eine numerische Steuervorrichtung gemäß einer Ausführungsform aufweist. Ein Bearbeitungssystem 100 umfasst eine numerische Steuervorrichtung 1 und eine Werkzeugmaschine 2. Die Werkzeugmaschine 2 ist eine Maschine, die Vibrationsschneiden (niederfrequentes Vibrationsschneiden) mit einem Werkzeug an einem zu bearbeitenden Objekt, beispielsweise einem zylindrischen Werkstück, durchführt.

Die Werkzeugmaschine 2 umfasst eine Antriebseinheit 3, welche eine Einheit ist, um das Werkzeug und das Werkstück zu bewegen.

**[0011]** Die Werkzeugmaschine 2 rotiert das Werkstück mit einer Hauptachse, welche die Zylinderachse des Werkstücks ist, als eine Drehachse und bringt das Werkzeug mit dem Werkstück in Kontakt, um das Werkstück zu bearbeiten. Die Werkzeugmaschine lässt das Werkzeug in Richtungen parallel zu der Drehachse schwingen und bewegt das Werkzeug so, dass das Werkzeug in eine Richtung parallel zu der Drehachse weiter bewegt wird, während das Werkstück bearbeitet wird.

**[0012]** Die numerische Steuervorrichtung 1 ist ein Computer, der eine numerische Steuerung (NC) der Werkzeugmaschine 2 durchführt. Die numerische Steuervorrichtung 1 stellt einen Parameter, der einen Bezug zu einer Schwingungsgegebenheit aufweist (nachfolgend als ein Parameter H5 bezeichnet) und einen Nach-Einstellungsparameter H6 ein, welche nachfolgend beschrieben werden und welche verwendet werden, wenn die Werkzeugmaschine 2 Vibrationsschneiden durchführt.

**[0013]** Die numerische Steuervorrichtung 1 umfasst eine Steuerung 10, eine Analyseeinheit 20, eine Speichereinheit 30 und eine Parametereinstelleinheit 40. Die Steuerung 10 umfasst eine Positionsbefehlszeugungseinheit 11, eine Schwingungskurvenerzeugungseinheit 12 und einen Addierer 13.

**[0014]** Die Speichereinheit 30 umfasst einen Parameterspeicherbereich 32, der den Parameter H5 und den Nach-Einstellungsparameter H6 speichert, die verwendet werden, wenn die Werkzeugmaschine 2 Vibrationsschneiden durchführt. Ein Beispiel für den Parameter H5 und den Nach-Einstellungsparameter H6 ist ein Schwingungsamplituden-Vorschub-Verhältnis. Das Schwingungsamplituden-Vorschub-Verhältnis ist das Verhältnis zwischen dem Amplitudenbetrag der Werkzeugschwingung und einer Werkzeugvorschubgeschwindigkeit. Die Werkzeugvorschubgeschwindigkeit ist die Bewegungsrate des Werkzeugs in eine Richtung parallel zu der Hauptachse. Die Werkzeugvorschubgeschwindigkeit umfasst nicht Geschwindigkeitsänderungen aufgrund der Schwingung des Werkzeugs. In der nachfolgenden Beschreibung wird das Schwingungsamplituden-Vorschub-Verhältnis als ein Schwingungsamplituden-Vorschub-Verhältnis Q1 bezeichnet. Der Schwingungsbetrag unterliegt der Beziehung  $A3=Q1 \times F$ , wobei A3 der Amplitudenbetrag der Werkzeugschwingung ist und F die Werkzeugvorschubgeschwindigkeit ist.

**[0015]** Die Speichereinheit 30 speichert ein Bearbeitungsprogramm 31, das verwendet wird, wenn die numerische Steuervorrichtung 1 die Werkzeugma-

schine 2 steuert. Das Bearbeitungsprogramm 31 umfasst Information zu einem Luftschneidbetrag während des Vibrationsschneidens, der durch einen Benutzer spezifiziert wird (nachfolgend als Luftschneidbetrag H2 bezeichnet), Information zu der Werkzeugvorschubgeschwindigkeit F usw. Der Luftschneidbetrag ist die Länge in Amplitudenrichtung der Luftschneidbereiche, wo zwischen dem Bewegungspfad des Werkzeugs und dem Werkstück kein Schneiden durchgeführt wird. Der spezifizierte Luftschneidbetrag H2 ist ein Befehlswert des Luftschneidbetrags, wenn das Werkzeug in Bezug auf das Werkstück während des Vibrationsschneidens Luft schneidet. Der spezifizierte Luftschneidbetrag H2 kann in der Speichereinheit 30 gespeichert werden.

**[0016]** Die Analyseeinheit 20 liest das Bearbeitungsprogramm 31 aus der Speichereinheit 30 aus. Die Analyseeinheit 20 analysiert das Bearbeitungsprogramm 31 und sendet die Analyseergebnisse an die Positionsbefehlserzeugungseinheit 11 der Steuerung 10. Zum Zeitpunkt der Analyseverarbeitung des Bearbeitungsprogramms 31 berechnet die Analyseeinheit 20 beispielsweise den Amplitudenbetrag A3 der Werkzeugschwingung basierend auf der vorangehend beschriebenen Beziehung  $A3=Q1 \times F$ . Die Analyseeinheit 20 sendet die Analyseergebnisse einschließlich der Information zu dem Amplitudenbetrag A3 an die Positionsbefehlserzeugungseinheit 11. Die Analyseeinheit 20 sendet den spezifizierten Luftschneidbetrag H2, der in dem Bearbeitungsprogramm 31 enthalten ist, an die Parametereinstelleinheit 40.

**[0017]** Die Parametereinstelleinheit 40 stellt den Parameter H5 unter Verwendung von künstlicher Intelligenz (AI) ein. Die Parametereinstelleinheit 40 erhält den spezifizierten Luftschneidbetrag H2 von der Analyseeinheit 20. Die Parametereinstelleinheit 40 erhält den Parameter H5 von der Speichereinheit 30. Die Parametereinstelleinheit 40 erhält eine Feedbackposition (FB) H3 und einen Schneidlastbetrag H4 von der Antriebseinheit 3.

**[0018]** Die FB-Position H3 ist Information, die die tatsächliche Position des Werkzeugs während des Vibrationsschneidens angibt. Die FB-Position H3 umfasst Information zu der Vorschubachsenposition des Werkzeugs und Information zu einem Drehwinkel der Hauptachse. Die Vorschubachsenposition des Werkzeugs ist die Position des Werkzeugs in der Richtung parallel zu der Hauptachse. Während des Vibrationsschneidens wird das Werkzeug in die Richtung parallel zu der Hauptachse, die die Drehachse des Werkstücks ist, vorwärts bewegt, während es in die Richtung parallel zu der Hauptachse schwingt. Die Position des Werkzeugs zu dieser Zeit ist die Vorschubachsenposition des Werkzeugs. Der Hauptachseneindrehwinkel ist der Drehwinkel der

Hauptachse. Beim Vibrationsschneiden schwingt das Werkstück  $(0,5+N)$  mal pro Drehung (360 Grad) der Hauptachse, wobei N eine ganze Zahl ist. In der vorliegenden Ausführungsform wird ein Fall beschrieben, bei dem  $N=1$  ist.

**[0019]** Der Schneidlastbetrag H4 ist der Betrag bzw. die Größe der Last, die erzeugt wird, wenn eine Achse zum Bewegen des Werkzeugs (erste Achse) oder eine Achse zum Bewegen des Werkstücks (zweite Achse) angetrieben wird, um an dem Werkstück mit dem Werkzeug Vibrationsschneiden durchzuführen. Das Vibrationsschneiden stellt Luftschneidbereiche bereit, wo ein Schneiden zwischen dem Bewegungspfad des Werkzeugs und dem Werkstück nicht durchgeführt wird, um es zu ermöglichen, dass Späne abgeschnitten werden. In den Luftschneidbereichen werden Lastzustände der Achse, die das Werkzeug bewegt, und der Achse, die das Werkstück bewegt, kleiner als dann, wenn das Werkzeug mit dem Werkstück in Kontakt ist. In der vorliegenden Ausführungsform lernt die numerische Steuervorrichtung 1 hierdurch die periodischen Lastzustände der Achsen, stellt den Parameter H5 während des Vibrationsschneidens automatisch ein und führt Vibrationsschneidsteuerung so durch, dass Späne abgeschnitten werden können, selbst wenn eine Folgeverzögerung eines Servomotors oder dergleichen auftritt.

**[0020]** Für die numerische Steuervorrichtung 1 wird der spezifizierte Luftschneidbetrag H2 als der Wert eingestellt, der durch den Benutzer eingegeben ist. Die numerische Steuervorrichtung 1 führt Vibrationsschneidsteuerung durch, während sie den Nach-Einstellungsparameter H6 so einstellt, dass ein tatsächlicher Luftschneidbetrag (ein geschätzter Luftschneidbetrag H9, der nachfolgend beschrieben wird) der spezifizierte Luftschneidbetrag H2 wird, und zwar basierend auf der Dauer, während der der Schneidlastbetrag H4 niedrig ist, sowie auf dem Hauptachseneindrehwinkel und der Vorschubachsenposition.

**[0021]** Die Parametereinstelleinheit 40 umfasst eine Lernvorrichtung 60 und eine Inferenzvorrichtung 70, die nachfolgend beschrieben werden. Die Parametereinstelleinheit 40 verwendet maschinelles Lernen, um einen Parameter einzustellen, der für den spezifizierten Luftschneidbetrag H2 geeignet ist, und zwar unter Verwendung des spezifizierten Luftschneidbetrags H2, des Parameters H5, der FB-Position H3, des Schneidlastbetrags H4 und eines nachfolgend beschriebenen kombinierten Positionsbefehls H8. Der Parameter, der für den spezifizierten Luftschneidbetrag H2 geeignet ist, ist ein Parameter, der durch Einstellen des Parameters H5 erhalten wird (nachfolgend als der Nach-Einstellungsparameter H6 bezeichnet). Nach Bestimmen des Parameters H6 unter Verwendung von maschinellem Ler-

nen, führt die Parametereinstelleinheit 40 maschinelles Lernen durch, wobei sie den Nach-Einstellungsparameter H6 anstatt des Parameters H5 verwendet. Auf diese Weise gewinnt die Parametereinstelleinheit 40 einen neuen Nach-Einstellungsparameter H6, der für einen neuen spezifizierten Luftschneidbetrag H2 geeignet ist, durch maschinelles Lernen.

**[0022]** Die Parametereinstelleinheit 40 führt maschinelles Lernen an dem Nach-Einstellungsparameter H6 durch, und zwar basierend auf dem Parameter H5 oder dem Nach-Einstellungsparameter H6. Nachfolgend wird ein Fall beschrieben, wo die Parametereinstelleinheit 40 maschinelles Lernen an dem Nach-Einstellungsparameter H6 unter Verwendung des Nach-Einstellungsparameters H6 durchführt.

**[0023]** Die Parametereinstelleinheit 40 bestimmt eine Luftschneiddauer basierend auf dem Schneidlastbetrag H4 und berechnet einen geschätzten Luftschneidbetrag (den geschätzten Luftschneidbetrag H9), der ein geschätzter Wert für den Luftschneidbetrag ist, und zwar basierend auf der FB-Position H3 und dem kombinierten Positionsbefehls H8. Die Parametereinstelleinheit 40 führt maschinelles Lernen durch, und zwar basierend auf dem geschätzten Luftschneidbetrag H9, dem spezifizierten Luftschneidbetrag H2 und dem Nach-Einstellungsparameter H6. Die Parametereinstelleinheit 40 bestimmt den Nach-Einstellungsparameter H6 durch maschinelles Lernen so, dass der geschätzte Luftschneidbetrag H9, der für den tatsächlichen Luftschneidbetrag gehalten wird, an den spezifizierten Luftschneidbetrag H2 angenähert wird.

**[0024]** Während des Vibrationsschneidens inferiert die Parametereinstelleinheit 40 den Nach-Einstellungsparameter H6, der für den spezifizierten Luftschneidbetrag H2 geeignet ist, und zwar basierend auf dem spezifizierten Luftschneidbetrag H2 und dem geschätzten Luftschneidbetrag H9. Die Parametereinstelleinheit 40 sendet den inferierten Nach-Einstellungsparameter H6 an die Schwingungskurvenerzeugungseinheit 12 der Steuerung 10.

**[0025]** Die Positionsbefehlserzeugungseinheit 11 erzeugt einen Positionsbefehl (nachfolgend als ein Positionsbefehl H1 bezeichnet) für das Werkzeug, und zwar basierend auf den Ergebnissen der Analyse des Bearbeitungsprogramms 31. Die Positionsbefehlserzeugungseinheit 11 sendet den Positionsbefehl H1 an den Addierer 13.

**[0026]** Die Schwingungskurvenerzeugungseinheit 12 erzeugt eine Schwingungskurve für das Werkzeug (nachfolgend als eine Schwingungskurve H7 bezeichnet) basierend auf dem Nach-Einstellungsparameter H6. Die Schwingungskurvenerzeugungseinheit 12 sendet die Schwingungskurve H7 an den Addierer 13. Der Addierer 13 addiert die Schwin-

gungskurve H7 zu dem Positionsbefehl H1, um einen kombinierten Positionsbefehl (nachfolgend als der kombinierte Positionsbefehl H8 bezeichnet) zu erzeugen, der ein Positionsbefehl ist, der eine Schwingungskomponente des Werkzeugs enthält. Der Addierer 13 sendet den kombinierten Positionsbefehl H8 an die Antriebseinheit 3. Der Addierer 13 sendet den kombinierten Positionsbefehl H8 auch an die Parametereinstelleinheit 40.

**[0027]** Die Antriebseinheit 3 steuert die Position des Werkzeugs so, dass sie dem kombinierten Positionsbefehl H8 entspricht. Die Antriebseinheit 3 umfasst eine Servosteuerung, einen Servomotor, eine Spindelsteuerung und einen Spindelmotor. Der Servomotor ist ein Motor zum Bewegen des Werkzeugs. Die Servosteuerung steuert den Servomotor. Der Spindelmotor ist ein Motor zum Drehen der Hauptachse als Drehachse des Werkstücks. Die Spindelsteuerung steuert den Spindelmotor. Die Antriebseinheit 3 verursacht die Bewegung des Werkzeugs und des Werkstücks unter Verwendung der Servosteuerung, des Servomotors, der Spindelsteuerung und des Spindelmotors, um Vibrationsschneiden durchzuführen. Die Steuerung der Drehung des Werkstücks kann durch die Steuerung 10 oder eine andere Steuerung bewirkt werden.

**[0028]** Während des Vibrationsschneidens detektiert die Werkzeugmaschine die FB-Position H3 und den Schneidlastbetrag H4 und sendet diese an die Parametereinstelleinheit 40. Der Schneidlastbetrag H4 kann ein Laststromwert sein, der ein Stromwert ist, der der Last entspricht, oder er kann ein durch einen Sensor detektierter Wert sein. Wenn der Schneidlastbetrag H4 beispielsweise als ein Sensorwert detektiert wird, kann ein Sensor, wie etwa ein Drehmomentsensor, an der Werkzeugmaschine 2 vorgesehen sein.

**[0029]** Fig. 2 ist ein Flussdiagramm, das eine Verarbeitungsprozedur für die Steuerung der Verarbeitung durch die numerische Steuervorrichtung gemäß der Ausführungsform zeigt. Wenn die numerische Steuervorrichtung 1 mit dem Vibrationsschneiden startet, gewinnt die Parametereinstelleinheit 40 den Schneidlastbetrag H4 (Schritt S1). Die Parametereinstelleinheit 40 stellt den Nach-Einstellungsparameter H6 basierend auf dem Schneidlastbetrag H4 ein (Schritt S2). Die Steuerung 10 steuert das Vibrationsschneiden unter Verwendung des Nach-Einstellungsparameters H6 (Schritt S3).

**[0030]** Nun wird die Lernverarbeitung und die Inferenzverarbeitung durch die numerische Steuervorrichtung 1 beschrieben. Die Parametereinstelleinheit 40 der numerischen Steuervorrichtung 1 umfasst die Lernvorrichtung 60 und die Inferenzvorrichtung 70. Die Lernvorrichtung 60 kann eine Vorrichtung sein, die unabhängig von der numerischen Steuervorrich-

tung 1 konfiguriert und außerhalb der numerischen Steuervorrichtung 1 angeordnet ist. Die Inferenzvorrichtung 70 kann eine Vorrichtung sein, die unabhängig von der numerischen Steuervorrichtung 1 konfiguriert und außerhalb der numerischen Steuervorrichtung 1 angeordnet ist.

<Lernphase>

**[0031]** Fig. 3 ist ein Diagramm, das eine Konfiguration der Lernvorrichtung zeigt, die in der numerischen Steuervorrichtung gemäß der Ausführungsform enthalten ist. Die Lernvorrichtung 60 umfasst eine Datengewinnungseinheit 61, eine Überwachungseinheit 63 und eine Modellerzeugungseinheit 62.

**[0032]** Informationen, in denen der Nach-Einstellungsparameter H6, das Schwingungsamplituden-Vorschub-Verhältnis Q1, der spezifizierte Luftschneidbetrag H2, die FB-Position H3, der Schneidlastbetrag H4 und der kombinierte Positionsbehl H8 einander zugeordnet sind.

**[0033]** Die Datengewinnungseinheit 61 sendet die FB-Position H3, den Schneidlastbetrag H4 und den kombinierten Positionsbehl H8 an die Überwachungseinheit 63. Die Datengewinnungseinheit 61 erhält von der Überwachungseinheit 63 den geschätzten Luftschneidbetrag H9, der der FB-Position H3 entspricht, den Schneidlastbetrag H4 und den kombinierten Positionsbehl H8.

**[0034]** Der Nach-Einstellungsparameter H6, der spezifizierte Luftschneidbetrag H2 und der geschätzte Luftschneidbetrag H9, die durch die Datengewinnungseinheit 61 gewonnen werden, sind Trainingsdaten. Die Datengewinnungseinheit 61 sendet die Trainingsdaten an die Modellerzeugungseinheit 62. Bis der Nach-Einstellungsparameter H6 berechnet ist, wird der Parameter H5 anstatt des Nach-Einstellungsparameters H6 an die Datengewinnungseinheit 61 gesendet.

**[0035]** Die Überwachungseinheit 63 gewinnt die FB-Position H3, den Schneidlastbetrag H4 und den kombinierten Positionsbehl H8 von der Datengewinnungseinheit 61, überwacht das Vibrationsschneiden und schätzt den geschätzten Luftschneidbetrag H9. Die Überwachungseinheit 63 sendet den geschätzten Luftschneidbetrag H9 an die Datengewinnungseinheit 61. Die Datengewinnungseinheit 61 ordnet den geschätzten Luftschneidbetrag H9, den Nach-Einstellungsparameter H6 und den spezifizierten Luftschneidbetrag H2 einander zu und sendet sie als Trainingsdaten an die Modellerzeugungseinheit 62.

**[0036]** Nun werden der Amplitudenbetrag A3 und der geschätzte Luftschneidbetrag H9 beschrieben. Fig. 4 ist ein Diagramm zum Erläutern eines Amplitu-

denbetrags und des geschätzten Luftschneidbetrags, wie sie durch die Lernvorrichtung gemäß der Ausführungsform berechnet sind. In den in Fig. 4 und Fig. 5 gezeigten Graphen, die nachfolgend beschrieben werden, repräsentiert die horizontale Achse den Hauptachseneckwinkel, und die vertikale Achse repräsentiert die Vorschubachsenposition. Die Fig. 4 und 5 zeigen Kurven 51A, 52A, 51B und 52B der Werkzeugposition während des Vibrationsschneidens, d. h. die Vorschubachsenposition in Abhängigkeit von dem Hauptachseneckwinkel.

**[0037]** Beim Vibrationsschneiden wird das Werkzeug in die Richtung parallel zu der Hauptachse vorwärts bewegt, während es in die Richtungen parallel zu der Hauptachse schwingt. Die Kurve 51A ist eine Kurve, die die Vorschubachsenposition des Werkzeugs bei der ersten Drehung des Werkstücks angibt. Die Kurve 52A ist eine Kurve, die die Vorschubachsenposition des Werkzeugs bei der zweiten Drehung des Werkstücks angibt. Die Bereiche unterhalb der Kurve 51A und oberhalb der Kurve 52A sind Luftschneidbereiche A2. Wenn eine Luftschneiddauer, welches eine Dauer jedes Luftschneidbereichs A2 ist, startet, wird ein Span abgeschnitten.

**[0038]** Die Überwachungseinheit 63 berechnet die Kurven 51A und 52A basierend auf der FB-Position H3 und dem kombinierten Positionsbehl H8. Der Amplitudenbetrag A3 bei der Kurve 52A ist der Amplitudenbetrag A3, der durch die Analyseeinheit 20 basierend auf der Werkzeugvorschubgeschwindigkeit F und dem Schwingungsamplituden-Vorschub-Verhältnis Q1 berechnet wurde.

**[0039]** Die Überwachungseinheit 63 bestimmt die Luftschneiddauer der Luftschneidbereiche A2 basierend auf dem Schneidlastbetrag H4. Die Überwachungseinheit 63 berechnet den geschätzten Luftschneidbetrag H9 basierend auf den Kurven 51A und 52A während der Luftschneiddauer. In Fig. 4 ist der geschätzte Luftschneidbetrag H9 durch einen Luftschneidbetrag A1 angegeben. Die Überwachungseinheit 63 berechnet einen Luftschneidbetrag des größten Werts der Luftschneidbeträge an den FB-Positionen H3 innerhalb der Luftschneiddauer als den Luftschneidbetrag A1 (geschätzter Luftschneidbetrag H9).

**[0040]** Fig. 5 ist ein Diagramm zum Erläutern des Amplitudenbetrags und des geschätzten Luftschneidbetrags, wie sie durch die Lernvorrichtung gemäß der Ausführungsform berechnet werden, wenn die Werkzeugvorschubgeschwindigkeit gering ist. Die Kurve 51B ist eine Kurve, die die Vorschubachsenposition des Werkzeugs bei der ersten Drehung des Werkstücks angibt. Die Kurve 52B ist eine Kurve, die die Vorschubachsenposition des Werkzeugs während der zweiten Drehung des Werkstücks angibt. Bereiche unterhalb der Kurve 51B

und oberhalb der Kurve 52B sind Luftschneidbereiche B2. In **Fig. 5** ist der durch die Beobachtungseinheit 63 berechnete Amplitudenbetrag durch einen Amplitudenbetrag B3 angegeben.

**[0041]** Wie in **Fig. 5** gezeigt, werden, wenn die Werkzeugvorschubgeschwindigkeit  $F$  klein ist, die Luftschneidbereiche B2 auch zusammen mit dem Amplitudenbetrag B3 bei dem die Späne abfallen, kleiner. In diesem Fall kann eine Ursache, wie etwa die Viskosität des Werkstücks, das Abfallen der Späne verhindern. Selbst in diesem Fall kann bei der vorliegenden Ausführungsform die Überwachungseinheit 63, die die Luftschneiddauer und die Luftschneidbereiche B2 basierend auf dem Schneidlastbetrag H4 bestimmt, genau bestimmen, ob Luftschneidbereiche B2, in denen Späne abfallen, erzeugt werden. Wenn Luftschneidbereiche B2, wo Späne nicht abfallen, erzeugt werden, kann die numerische Steuervorrichtung 1 folglich die Luftschneidbereiche B2, wo Späne abfallen durch Einstellen des Nach-Einstellungsparameters H6 erzeugen.

**[0042]** Nun wird die Beziehung zwischen dem Schneidlastbetrag H4 und den Luftschneidbereichen beschrieben. **Fig. 6** ist ein Diagramm zum Erläutern des Schneidlastbetrags, wenn die Lernvorrichtung gemäß der Ausführungsform Luftschneidbereiche nicht detektiert. **Fig. 7** ist ein Diagramm zum Erläutern des Schneidlastbetrags, wenn die Lernvorrichtung gemäß der Ausführungsform Luftschneidbereiche detektiert.

**[0043]** In den in den **Fig. 6** und **7** gezeigten Graphen repräsentiert die horizontale Achse den Hauptachsenschneidwinkel, und die vertikale Achse repräsentiert die Vorschubachsenposition und den Schneidlastbetrag. Die **Fig. 6** und **7** zeigen die Vorschubachsenposition in Abhängigkeit von dem Hauptachsenschneidwinkel, und den Schneidlastbetrag H4 in Abhängigkeit von dem Hauptachsenschneidwinkel.

**[0044]** In **Fig. 6** ist eine Kurve 51C eine Kurve, die die Vorschubachsenposition des Werkzeugs bei der ersten Drehung des Werkstücks angibt, und die Kurve 52C ist eine Kurve, die die Vorschubachsenposition des Werkzeugs bei der zweiten Rotation des Werkstücks angibt. In **Fig. 6** ist eine Kurve des Schneidlastbetrags H4 in Bezug auf die Kurve 52C durch eine Schneidlastbetragskurve 53C angegeben.

**[0045]** Wenn es Bereiche unterhalb der Kurve 51C und oberhalb der Kurve 52C gibt, sind diese Bereiche Luftschneidbereiche, in **Fig. 6** gibt es jedoch keine Luftschneidbereiche. Folglich werden Späne nicht abgeschnitten. Die Schneidlastbetragskurve 53C ändert sich in diesem Fall langsam, entsprechend der Kurve 52C.

**[0046]** In **Fig. 7** ist die Kurve 51D eine Kurve, die die Vorschubachsenposition des Werkstücks bei der ersten Drehung des Werkstücks angibt, und die Kurve 52D ist eine Kurve, die die Vorschubachsenposition des Werkzeugs bei der zweiten Drehung des Werkstücks angibt. In **Fig. 7** ist eine Kurve des Schneidlastbetrags H4 in Bezug auf die Kurve 52D durch eine Schneidlastbetragskurve 53D angegeben.

**[0047]** Bereiche unterhalb der Kurve 51D und oberhalb der Kurve 52D sind Luftschneidbereiche D2. Die Schneidlastbetragskurve 53D ändert sich in Übereinstimmung mit der Kurve 52D langsam. Während einer Luftschneiddauer D4 jedes Luftschneidbereichs D2 sinkt die Schneidlastbetragskurve 53D jedoch signifikant ab, da das Werkzeug nicht mit dem Werkstück in Kontakt gelangt.

**[0048]** Die Überwachungseinheit 63 bestimmt die Luftschneiddauer D4 basierend auf einer Änderung der Schneidlastbetragskurve 53D. Dann berechnet die Überwachungseinheit 63 einen Luftschneidbetrag D1 während der Luftschneiddauer D4 und sendet den geschätzten Luftschneidbetrag H9, der der Luftschneidbetrag D1 ist, über die Datengewinnungseinheit 61 an die Modellerzeugungseinheit 62.

**[0049]** Die Modellerzeugungseinheit 62 lernt hauptsächlich den Nach-Einstellungsparameter H6 sowie das Schwingungsamplituden-Vorschub-Verhältnis Q1 basierend auf den Trainingsdaten, die den Nach-Einstellungsparameter H6, den spezifizierten Luftschneidbetrag H2 und den geschätzten Luftschneidbetrag H9 umfassen.

**[0050]** Als ein Lernalgorithmus, der durch die Modellerzeugungseinheit 62 verwendet wird, kann ein bekannter Algorithmus, wie etwa überwachtes Lernen, nicht überwachtes Lernen oder bestärkendes Lernen verwendet werden. Als ein Beispiel wird ein Fall beschrieben, wo die Modellerzeugungseinheit 62 bestärkendes Lernen für den Lernalgorithmus anwendet. Beim bestärkenden Lernen beobachtet ein Agent in einer bestimmten Umgebung einen momentanen Zustand (Umgebungsparameter) und bestimmt eine durchzuführende Aktion. Die Aktion des Agenten ändert die Umgebung dynamisch. Der Agent erhält eine Belohnung in Übereinstimmung mit der Änderung der Umgebung. Der Agent wiederholt dies und lernt eine Aktionsstrategie, die die größte Belohnung durch eine Reihe von Aktionen erhält. Als typische Verfahren des bestärkenden Lernens sind Q-Lernen und TD-Lernen bekannt. Beispielsweise beim Q-Lernen wird eine typische Aktualisierungsfunktion für die Aktionswertfunktion  $Q(s, a)$  durch die nachstehende Formel (1) dargestellt.  
Formel 1:

$$Q(s_t, a_t) \leftarrow Q(s_t, a_t) + \alpha \left( r_{t+1} + \gamma \max_a Q(s_{t+1}, a) - Q(s_t, a_t) \right) \dots (1)$$

**[0051]** In der Formel (1) repräsentiert  $s_t$  einen Umgebungszustand zu einer Zeit  $t$ , und  $a_t$  repräsentiert eine Aktion zu der Zeit  $t$ . Die Aktion  $a_t$  ändert den Zustand zu  $s_{t+1}$ .  $r_{t+1}$  repräsentiert eine Belohnung, die aufgrund der Änderung des Zustands gegeben wird,  $\gamma$  repräsentiert einen Abschlagsfaktor, und  $\alpha$  repräsentiert eine Lernrate.  $\gamma$  liegt in dem Bereich von  $0 < \gamma \leq 1$ .  $\alpha$  liegt in dem Bereich von  $0 < \alpha \leq 1$ . Der Nach-Einstellungsparameter H6 ist die Aktion  $a_t$ . Der spezifizierte Luftschneidbetrag H2 und der geschätzte Luftschneidbetrag H9 sind der Zustand  $s_t$ . Die beste Aktion  $a_t$  in dem Zustand  $s_t$  zur Zeit  $t$  wird gelernt.

**[0052]** Wenn in der durch die Formel (1) repräsentierten Aktualisierungsfunktion der Aktionswert  $Q$  einer Aktion  $a$  des größten  $Q$ -Werts zu einer Zeit  $t+1$  größer ist als der Aktionswert  $Q$  einer zu der Zeit  $t$  durchgeführten Aktion  $a$ , wird der Aktionswert  $Q$  erhöht. Im umgekehrten Fall wird der Aktionswert  $Q$  verringert. Bei der durch die Formel (1) repräsentierten Aktualisierungsgleichung wird, in anderen Worten, die Aktionswertfunktion  $Q(s, a)$  so aktualisiert, dass der Aktionswert  $Q$  der Aktion  $a$  zu der Zeit  $t$  sich dem besten Aktionswert zu der Zeit  $t+1$  annähert. Somit wird der beste Aktionswert in einer bestimmten Umgebung nacheinander zu den Aktionswerten in den vorangehenden Umgebungen übermittelt.

**[0053]** Wenn, wie vorangehend beschrieben, ein Lernmodell durch bestärkendes Lernen erzeugt wird, umfasst die Modellerzeugungseinheit 62 eine Belohnungsberechnungseinheit 620 und eine Funktionsaktualisierungseinheit 621.

**[0054]** Die Belohnungsberechnungseinheit 620 berechnet eine Belohnung basierend auf dem spezifizierten Luftschneidbetrag H2 und dem geschätzten Luftschneidbetrag H9. Die Belohnungsberechnungseinheit 620 berechnet eine Belohnung  $r$  basierend auf einer Luftschneidbetragdifferenz, welches die Differenz zwischen dem spezifizierten Luftschneidbetrag H2 und dem geschätzten Luftschneidbetrag H9 ist.

**[0055]** Beispielsweise erhöht die Belohnungsberechnungseinheit 620 die Belohnung  $r$  (sie gibt beispielsweise eine Belohnung von „1“), wenn die Luftschneidbetragdifferenz zwischen dem spezifizierten Luftschneidbetrag H2 und dem geschätzten Luftschneidbetrag H9 abnimmt, und sie reduziert andererseits die Belohnung  $r$  (sie gibt beispielsweise eine Belohnung von „-1“), wenn die Luftschneidbetragdifferenz zunimmt.

**[0056]** Die Belohnungsberechnungseinheit 620 kann eine Belohnung basierend auf dem geschätzten Luftschneidbetrag H9 berechnen. In diesem Fall muss die Datengewinnungseinheit 61 den spezifizierten Luftschneidbetrag H2 nicht gewinnen.

**[0057]** In einem Fall, in dem der spezifizierte Luftschneidbetrag H2 nicht eingestellt ist, erhöht die Belohnungsberechnungseinheit 620 die Belohnung  $r$  (sie gibt beispielsweise die Belohnung von „1“), wenn der geschätzte Luftschneidbetrag H9 abnimmt und größer als null ist (es gibt periodische Laständerungen), und sie verringert andererseits die Belohnung  $r$  (es gibt beispielsweise die Belohnung von „-1“), wenn der geschätzte Luftschneidbetrag H9 zunimmt oder null ist (es gibt keine periodischen Laständerungen). Auf diese Weise ändert die Belohnungsberechnungseinheit 620 die Belohnungskriterien in Abhängigkeit davon, ob der spezifizierte Luftschneidbetrag H2 vorliegt oder nicht.

**[0058]** Die Funktionsaktualisierungseinheit 621 aktualisiert eine Funktion zum Bestimmen des Nach-Einstellungsparameters H6 in Übereinstimmung mit der durch die Belohnungsberechnungseinheit 620 berechneten Belohnung und gibt die aktualisierte Funktion als das gelernte Modell an die Speichereinheit 80 für gelernte Modelle aus. Beispielsweise verwendet beim Q-Lernen die Funktionsaktualisierungseinheit 621 die Aktionswertfunktion  $Q(s_t, a_t)$ , die durch die Formel (1) repräsentiert ist, als die Funktion zum Berechnen des Nach-Einstellungsparameters H6.

**[0059]** Die Modellerzeugungseinheit 62 führt das vorangehend beschriebene Lernen wiederholt durch. Die Speichereinheit 80 für gelernte Modelle speichert die Aktionswertfunktion  $Q(s_t, a_t)$ , die durch die Funktionsaktualisierungseinheit 621 aktualisiert wurde, d. h. das gelernte Modell. Die Speichereinheit 80 für gelernte Modelle kann in der Lernvorrichtung 60 oder außerhalb der Lernvorrichtung 60 angeordnet sein. Ferner kann die Speichereinheit 80 für gelernte Modelle in der numerischen Steuervorrichtung 1 oder außerhalb der numerischen Steuervorrichtung 1 angeordnet sein.

**[0060]** Nun wird die Verarbeitung durch die Lernvorrichtung zum Lernen des Nach-Einstellungsparameters H6 unter Bezugnahme auf **Fig. 8** beschrieben. **Fig. 8** ist ein Flussdiagramm, das eine Verarbeitungsprozedur zur Lernverarbeitung durch die Lernvorrichtung gemäß der Ausführungsform zeigt.

**[0061]** Die Datengewinnungseinheit 61 gewinnt den Nach-Einstellungsparameter H6, den spezifizierten Luftschneidbetrag H2 und den geschätzten Luftschneidbetrag H9 als Trainingsdaten (Schritt S110).

**[0062]** Die Modellerzeugungseinheit 62 berechnet eine Belohnung basierend auf dem spezifizierten Luftschneidbetrag H2 und dem geschätzten Luftschneidbetrag H9 (Schritt S120). Insbesondere gewinnt die Belohnungsberechnungseinheit 620 der Modellerzeugungseinheit 62 den spezifizierten Luftschneidbetrag H2 und den geschätzten Luftschneidbetrag H9 und bestimmt basierend auf einem vorbestimmten Belohnungskriterium (einer Zunahme oder einer Abnahme der Luftschneidbetragdifferenz) ob die Belohnung zu erhöhen oder zu reduzieren ist.

**[0063]** Wenn die Belohnungsberechnungseinheit 620 bestimmt, dass die Belohnung erhöht wird (Schritt S120, eine Luftschneidbetragdifferenz wird reduziert), erhöht die Belohnungsberechnungseinheit 620 die Belohnung (Schritt S130). Das heißt, dass die Belohnungsberechnungseinheit 620 die Belohnung erhöht, wenn ein Belohnungserhöhungskriterium aufgrund einer Abnahme der Luftschneidbetragdifferenz erfüllt ist.

**[0064]** Wenn andererseits die Belohnungsberechnungseinheit 620 bestimmt, dass die Belohnung reduziert wird (Schritt S120, die Luftschneidbetragdifferenz hat zugenommen), reduziert die Belohnungsberechnungseinheit 620 die Belohnung (Schritt S140). Dies bedeutet, dass die Belohnungsberechnungseinheit 620 die Belohnung reduziert, wenn ein Belohnungsverringerungskriterium aufgrund einer Zunahme der Luftschneidbetragdifferenz erfüllt ist.

**[0065]** Die Funktionsaktualisierungseinheit 621 aktualisiert die Aktionswertfunktion  $Q(s_t, a_t)$ , die durch die Formel (1), die in der Lernmodellspeichereinheit 80 gespeichert ist, repräsentiert ist, basierend auf der durch die Belohnungsberechnungseinheit 620 berechneten Belohnung (Schritt S150).

**[0066]** Die Lernvorrichtung 60 führt die obigen Schritte in den Schritten S110 bis S150 wiederholt durch und speichert die erzeugte Aktionswertfunktion  $Q(s_t, a_t)$  als das gelernte Modell in der Speichereinheit 80 für gelernte Modelle.

<Benutzungsphase>

**[0067]** Fig. 9 ist ein Diagramm, das eine Konfiguration der Inferenzvorrichtung zeigt, die in der numerischen Steuervorrichtung gemäß der Ausführungsform enthalten ist. Die Inferenzvorrichtung 70 umfasst eine Datengewinnungseinheit 71 und eine Inferenzeinheit 72. Die Datengewinnungseinheit 71 gewinnt den spezifizierten Luftschneidbetrag H2 und den geschätzten Luftschneidbetrag H9.

**[0068]** Die Datengewinnungseinheit 71 gewinnt den spezifizierten Luftschneidbetrag H2 von der Analyseinheit 20. Die Datengewinnungseinheit 71 kann den

geschätzten Luftschneidbetrag H9 von der Überwachungseinheit 63 der Lernvorrichtung 60 erhalten, oder sie kann den geschätzten Luftschneidbetrag H9 selbst berechnen. Wenn die Datengewinnungseinheit 71 den geschätzten Luftschneidbetrag H9 berechnet, umfasst die Inferenzvorrichtung 70 eine Überwachungseinheit, ähnlich der Überwachungseinheit 63. Die Datengewinnungseinheit 71 kann den geschätzten Luftschneidbetrag H9 durch eine Verarbeitung wie etwa der durch die Überwachungseinheit 63 berechnen. Wenn die Datengewinnungseinheit 71 den geschätzten Luftschneidbetrag H9 durch eine Verarbeitung wie der durch die Überwachungseinheit 63 berechnet, schätzt die Datengewinnungseinheit 71 den geschätzten Luftschneidbetrag H9 basierend auf der FB-Position H3, den Schneidlastbetrag H4 und den kombinierten Positionsbefehl H8.

**[0069]** Die Inferenzeinheit 72 inferiert den Nach-Einstellungsparameter H6 unter Verwendung des gelernten Modells, das in der Speichereinheit 80 für gelernte Modelle gespeichert ist. Insbesondere kann die Inferenzeinheit 72 durch Eingabe des spezifizierten Luftschneidbetrags H2 und des geschätzten Luftschneidbetrags H9, welche durch die Datengewinnungseinheit 71 gewonnen wurden, in das gelernte Modell den Nach-Einstellungsparameter H6 inferieren, der für den spezifizierten Luftschneidbetrag H2 und den geschätzten Luftschneidbetrag H9 geeignet ist. Die Inferenzeinheit 72 sendet den inferierten Nach-Einstellungsparameter H6 an die Schwingungskurvenerzeugungseinheit 12. Entsprechend wird Vibrationsschneiden unter Verwendung des Nach-Einstellungsparameters H6 durchgeführt.

**[0070]** In Zusammenhang mit der vorliegenden Ausführungsform wurde die Inferenzvorrichtung 70 beschrieben, die den Nach-Einstellungsparameter H6 unter Verwendung des gelernten Modells ausgibt, welches durch die Modellerzeugungseinheit 62 der numerischen Steuervorrichtung 1 gelernt wurde. Die Inferenzvorrichtung 70 kann ein gelerntes Modell von einer anderen numerischen Steuervorrichtung gewinnen. In diesem Fall gibt die Inferenzvorrichtung 70 den Nach-Einstellungsparameter H6 auf der Grundlage des gelernten Modells aus, das von der anderen numerischen Steuervorrichtung gewonnen wurde.

**[0071]** Nun wird die Verarbeitung durch die Inferenzvorrichtung 70 zum Inferieren des Nach-Einstellungsparameters H6 unter Bezugnahme auf Fig. 10 beschrieben. Fig. 10 ist ein Flussdiagramm, das eine Verarbeitungsprozedur zur Inferenzverarbeitung durch die Inferenzvorrichtung gemäß der Ausführungsform zeigt.

**[0072]** Die Datengewinnungseinheit 71 der Inferenzvorrichtung 70 gewinnt den spezifizierten Luft-

schneidbetrag H2 und den geschätzten Luftschneidbetrag H9 als Inferenzdaten (Schritt S210).

**[0073]** Die Inferenzeinheit 72 gibt den spezifizierten Luftschneidbetrag H2 und den geschätzten Luftschneidbetrag H9 als die Inferenzdaten in das gelernte Modell ein, das in der Speichereinheit 80 für gelernte Modelle gespeichert ist (Schritt S220), um den Nach-Einstellungsparameter H6 zu erhalten, der der eingegebenen Information entspricht. Die Inferenzeinheit 72 gibt den erhaltenen Nach-Einstellungsparameter H6 über die Parametereinstelleinheit 40 an die Steuerung 10 aus (Schritt S230).

**[0074]** Die Schwingungskurvenerzeugungseinheit 12 der Steuerung 10 erzeugt die Schwingungskurve H7 unter Verwendung des Nach-Einstellungsparameters H6, der von der Inferenzeinheit 72 ausgegeben wurde (Schritt S240). Wenn somit der spezifizierte Luftschneidbetrag H2 eingestellt ist, stellt die numerische Steuervorrichtung 1 den Nach-Einstellungsparameter H6 so ein, dass der geschätzte Luftschneidbetrag H9 der spezifizierte Luftschneidbetrag H2 wird, um Vibrationsschneiden durchzuführen. Wenn der spezifizierte Luftschneidbetrag H2 nicht eingestellt ist, stellt die numerische Steuervorrichtung 1 den Nach-Einstellungsparameter H6 (wie etwa das Schwingungsamplituden-Vorschubgeschwindigkeit-Verhältnis Q1) so ein, dass der geschätzte Luftschneidbetrag H9 ein minimaler Luftschneidbetrag größer als null wird, um Vibrationsschneiden durchzuführen. Die numerische Steuervorrichtung 1 berechnet, in anderen Worten, den Nach-Einstellungsparameter H6, um einen minimalen Luftschneidbetrag zu erzeugen, und sie steuert das Vibrationsschneiden mit diesem Nach-Einstellungsparameter H6.

**[0075]** Der minimale Luftschneidbetrag, der nicht null ist, ist der kleinste Luftschneidbetrag unter Luftschneidbeträgen, bei denen Späne abfallen können. Die numerische Steuervorrichtung 1 setzt Luftschneidbeträge, die das Abfallen von Spänen ermöglichen, als voreingestellte Werte, basierend auf früheren Schneidlastbeträgen H4 während des Vibrationsschneidens.

**[0076]** Die Modellerzeugungseinheit 62 kann Deep-Learning als den Lernalgorithmus verwenden, um das Extrahieren von Merkmalen zu lernen. Die Modellerzeugungseinheit 62 kann maschinelles Lernen gemäß einem anderen bekannten Verfahren, wie etwa einem neuronalen Netz, genetischer Programmierung, funktioneller logischer Programmierung oder einer Support-Vektor-Maschine durchführen.

**[0077]** Die Lernvorrichtung 60 und die Inferenzvorrichtung 70 können beispielsweise Vorrichtungen sein, die von der numerischen Steuervorrichtung 1

getrennt sind und mit der numerischen Steuervorrichtung 1 über ein Netzwerk verbunden sind. Ferner können die Lernvorrichtung 60 und die Inferenzvorrichtung 70 in der numerischen Steuervorrichtung 1 enthalten sein. Ferner können die Lernvorrichtung 60 und die Inferenzvorrichtung 70 auf einem Cloud-Server liegen.

**[0078]** Die Modellerzeugungseinheit 62 kann den Nach-Einstellungsparameter H6 unter Verwendung von Trainingsdaten lernen, die von einer Mehrzahl von numerischen Steuervorrichtungen 1 gewonnen wurden. Die Modellerzeugungseinheit 62 kann Trainingsdaten von einer Mehrzahl von numerischen Steuervorrichtungen 1 gewinnen, die in dem gleichen Bereich verwendet werden, oder sie kann den Nach-Einstellungsparameter H6 unter Verwendung von Trainingsdaten lernen, die von einer Mehrzahl der numerischen Steuervorrichtungen 1 gesammelt wurden, die unabhängig voneinander in verschiedenen Bereichen arbeiten. Die numerische Steuervorrichtung 1, von der Trainingsdaten gesammelt werden, kann Objekten hinzugefügt werden oder von Objekten in der Mitte entfernt werden. Ferner kann die Lernvorrichtung 60, die den Nach-Einstellungsparameter H6 auf einer bestimmten numerischen Steuervorrichtung 1 gelernt hat, für eine weitere numerische Steuervorrichtung 1 verwendet werden, und der Nach-Einstellungsparameter H6 kann auf der anderen numerischen Steuervorrichtung 1 erneut gelernt werden, um aktualisiert zu werden.

**[0079]** Wie vorangehend beschrieben, lernt die numerische Steuervorrichtung 1 der vorliegenden Ausführungsform den Nach-Einstellungsparameter H6 so, dass der geschätzte Luftschneidbetrag H9 sich dem durch den Benutzer eingestellten spezifizierten Luftschneidbetrag H2 annähert, und gibt diesen aus.

**[0080]** Fig. 11 ist ein Diagramm zum Erläutern des geschätzten Luftschneidbetrags und des spezifizierten Luftschneidbetrags, wenn der durch die Inferenzvorrichtung gemäß der Ausführungsform inferierte Nach-Einstellungsparameter beim Vibrationsschneiden verwendet wird. In einem in Fig. 11 gezeigten Graphen repräsentiert die horizontale Achse den Hauptachsenschneidwinkel, und die vertikale Achse repräsentiert die Vorschubachsenposition. Fig. 11 zeigt die Vorschubachsenposition in Abhängigkeit von dem Hauptachsenschneidwinkel.

**[0081]** Eine Kurve 51E ist eine Kurve, die die Vorschubachsenposition des Werkzeugs bei der ersten Drehung des Werkstücks angibt. Eine Kurve 52B ist eine Kurve, die die Vorschubachsenposition des Werkzeugs bei der zweiten Drehung des Werkstücks angibt. Bereiche unterhalb der Kurve 51E und oberhalb der Kurve 52E sind Luftschneidbereiche E2. Der

geschätzte Luftschneidbetrag H9 ist in **Fig. 11** durch einen Luftschneidbetrag E1 angegeben.

**[0082]** Wenn der Benutzer den Luftschneidbetrag (spezifizierter Luftschneidbetrag H2), der den Luftschneidbeträgen E2 entspricht, einstellt, stellt die numerische Steuervorrichtung 1 den Nach-Einstellungsparameter H6 so ein, dass der geschätzte Luftschneidbetrag H9 (Luftschneidbetrag E1) gleich dem spezifizierten Luftschneidbetrag H2 wird. Folglich wird der geschätzte Luftschneidbetrag H9 gleich dem spezifizierten Luftschneidbetrag H2.

**[0083]** Wenn Vibrationsschneiden durchgeführt wird, kann eine Folgeverzögerung des Servomotors auftreten oder Luftschneidbereiche können klein sein. Wenn in einem solchen Fall der Nach-Einstellungsparameter H6 anders als bei der numerischen Steuervorrichtung 1 der vorliegenden Ausführungsform nicht eingestellt wird, können Späne nicht abfallen. Selbst wenn Späne nicht abfallen, ermöglicht es die numerische Steuervorrichtung 1 der vorliegenden Ausführungsform, welche hingegen den Nach-Einstellungsparameter H6 basierend auf dem Schneidlastbetrag H4 einstellt, dass Späne abfallen können, indem der Nach-Einstellungsparameter H6 eingestellt wird.

**[0084]** Nun wird eine Hardware-Konfiguration der numerischen Steuervorrichtung 1 beschrieben. **Fig. 12** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Hardwarekonfiguration zum Implementieren der numerischen Steuervorrichtung gemäß der Ausführungsform zeigt.

**[0085]** Die numerische Steuervorrichtung 1 kann durch eine Eingabevorrichtung 240, einen Prozessor 210, einen Speicher 220 und eine Ausgabevorrichtung 230 implementiert sein. Ein Beispiel für den Prozessor 210 ist eine zentrale Prozessierungseinheit (CPU, auch Zentralprozessor, Prozessierungseinheit, Arithmetikeinheit, Mikroprozessor, Mikrocomputer oder digitaler Signalprozessor (DSP) genannt), oder ein System mit großer Integration (LSI). Beispiele für den Speicher 220 sind ein Wahlzugriffsspeicher (RAM) und ein Nur-Lese-Speicher (ROM).

**[0086]** Die numerische Steuervorrichtung 1 ist durch den Prozessor 210 implementiert, der das computer-ausführbare Bearbeitungsprogramm 31 liest und ausführt, um den in dem Speicher 220 gespeicherten Betrieb der numerischen Steuervorrichtung 1 zu implementieren. Das Bearbeitungsprogramm 31, welches ein Programm zum Implementieren des Betriebs der numerischen Steuervorrichtung 1 ist, kann als ein Programm betrachtet werden, das den Computer veranlasst, die Prozeduren oder die Verfahren in der numerischen Steuervorrichtung 1 auszuführen.

**[0087]** Das durch die numerische Steuervorrichtung 1 ausgeführte Bearbeitungsprogramm 31 hat eine Modulkonfiguration, die die Steuerung 10, die Analyseeinheit 20 und die Parametereinstelleinheit 40 umfasst, die in den Hauptspeicher geladen und in dem Hauptspeicher erzeugt werden.

**[0088]** Die Eingabevorrichtung 240 erhält den spezifizierten Luftschneidbetrag H2, den Parameter H5 und das Bearbeitungsprogramm 31 von dem Benutzer oder einer externen Vorrichtung und sendet diese an den Speicher 220.

**[0089]** Der Speicher 220 entspricht der Speichereinheit 30 und der Speichereinheit 80 für gelernte Modelle. Der Speicher 220 speichert das gelernte Modell, den spezifizierten Luftschneidbetrag H2, den Parameter H5, den Nach-Einstellungsparameter H6, das Bearbeitungsprogramm 31 usw. Das gelernte Modell, der spezifizierter Luftschneidbetrag H2, der Parameter H5, der Nach-Einstellungsparameter H6 und das Bearbeitungsprogramm 31 werden an den Prozessor 210 gesendet. Der Speicher 220 wird auch als temporärer Speicher verwendet, wenn der Prozessor 210 die verschiedenen Arten von Verarbeitung durchführt. Die Ausgabevorrichtung 230 sendet den kombinierten Positionsbefehl H8 an die Antriebseinheit 3.

**[0090]** Das Bearbeitungsprogramm 31 kann auf einem computerlesbaren Speichermedium in einem installierbaren Format oder einem ausführbaren Format als Datei gespeichert sein und dem Computer als Programmprodukt bereitgestellt sein. Das Bearbeitungsprogramm 31 kann der numerischen Steuervorrichtung 1 über ein Netzwerk, wie etwa das Internet, bereitgestellt werden. Die Funktionen der numerischen Steuervorrichtung 1 können teilweise durch dedizierte Hardware, wie etwa eine dedizierte Schaltung implementiert sein und teilweise durch Software oder Firmware implementiert sein. Die numerische Steuervorrichtung 1, die Lernvorrichtung 60 und die Inferenzvorrichtung 70 können sämtlich durch eine andere Hardwarekonfiguration implementiert sein.

**[0091]** Gemäß der Ausführungsform berechnet die numerische Steuervorrichtung 1, wie vorangehend beschrieben, den Nach-Einstellungsparameter H6, der beim Vibrationsschneiden verwendet wird, basierend auf dem Schneidlastbetrag H4, wenn das Vibrationsschneiden durchgeführt wird, und sie steuert das Vibrationsschneiden unter Verwendung des Nach-Einstellungsparameters H6 und kann somit die Steuerung des Vibrationsschneidens weiterführen, ohne dass der Benutzer eine weitere Einstellung eines Parameters durchführen muss.

**[0092]** Die numerische Steuervorrichtung 1 führt Vibrationsschneiden durch, während sie die Parame-

tereinstellung so durchführt, dass Späne abgeschnitten werden, und sie kann somit verhindern, dass das Vibrationsschneiden fortgesetzt wird, ohne dass Späne abgeschnitten werden.

**[0093]** Der Benutzer muss nur einen Vibrationsschneidbefehl in die numerische Steuervorrichtung 1 eingeben, und er muss eine weitere Einstellung von Parametern nicht vornehmen, sodass die Bedienbarkeit verbessert ist.

**[0094]** Selbst wenn sich das Werkzeug aufgrund fortgesetzten Betriebs der Werkzeugmaschine 2 über eine lange Zeit abnutzt, was Luftschneidbereiche ändert, kann die numerische Steuervorrichtung 1 das Vibrationsschneiden steuern, ohne dass der Benutzer eine weitere Parametereinstellung durchführen muss.

**[0095]** Selbst wenn sich die Werkzeugvorschubrate F ändert, kann die numerische Steuervorrichtung 1 das Vibrationsschneiden steuern, ohne dass der Benutzer eine weitere Parametereinstellung durchführen muss.

**[0096]** Die in der obigen Ausführungsform beschriebene Konfiguration zeigt ein Beispiel und kann mit anderen Dingen kombiniert werden oder teilweise weggelassen werden oder abgeändert werden, ohne von ihren Gedanken abzuweichen.

Bezugszeichenliste

1	numerische Steuervorrichtung;
2	Werkzeugmaschine;
3	Antriebseinheit;
10	Steuerung;
11	Positionsbefehlserzeugungseinheit;
12	Schwingungskurve- nerzeugungseinheit;
13	Addierer;
20	Analyseeinheit;
30	Speichereinheit;
31	Bearbeitungsprogramm;
32	Parameterspeicherbereich;
40	Parametereinstell- einheit;
51A, 52A, 51B, 52B, 51C, 52C, 51D, 52D, 51E, 52E	Kurve;

53C, 53D	Schneidlastbetragskurve;
60	Lernvorrichtung;
61, 71	Datengewinnungseinheit;
62	Modellerzeugungseinheit;
63	Überwachungseinheit;
70	Inferenzvorrichtung;
72	Inferenzeinheit;
80	Speichereinheit für gelernte Modelle;
100	Bearbeitungssystem;
210	Prozessor;
220	Speicher;
230	Ausgabevorrichtung;
240	Eingabevorrichtung;
620	Belohnungsberechnungseinheit;
621	Funktionsaktualisierungseinheit;
A1, D1, E1	Luftschneidbetrag;
A2, B2, D2, E2	Luftschneidbereich;
A3, B3	Amplitudenbetrag;
D4	Luftschneiddauer;
H1	Positionsbefehl;
H2	spezifizierter Luftschneidbetrag;
H3	FB-Position;
H4	Schneidlastbetrag;
H5	Parameter;
H6	Nach-Einstellungsparameter;
H7	Schwingungskurve;
H8	kombinierter Positionsbefehl;
H9	geschätzter Luftschneidbetrag.

**Patentansprüche**

1. Numerische Steuervorrichtung (1) zur Bearbeitung eines Werkstücks bei der Durchführung von Vibrationsschneiden, bei dem ein Werkzeug und das Werkstück relativ zueinander schwingen, indem eine erste Achse zum Antreiben des Werk-

zeugs oder eine zweite Achse zum Antreiben des Werkstücks angetrieben werden, wobei die Vorrichtung (1) umfasst:

eine Parametereinstelleinheit (40) zum Einstellen eines Parameters, der in Bezug zu einer Schwingungsgegebenheit für das Vibrationsschneiden während des Vibrationsschneidens steht, und zwar basierend auf einem Betrag einer Schneidlast (H4), die an der ersten Achse oder der zweiten Achse erzeugt wird und die sich während des Vibrationsschneidens ändert; und  
eine Steuerung (10) zum Steuern des Vibrationsschneidens unter Verwendung des eingestellten Parameters (H6), wobei dann, wenn eine Differenz zwischen einem spezifizierten Luftschneidbetrag (H2), der ein Befehlswert eines Luftschneidbetrags zu einer Zeit ist, zu der das Werkzeug während des Vibrationsschneidens in Bezug auf das Werkstück Luft schneidet, und einem geschätzten Luftschneidbetrag (H9), der ein geschätzter Wert des Luftschneidbetrags ist, besteht, die Parametereinstelleinheit (40) den Parameter berechnet, bei dem sich der geschätzte Luftschneidbetrag (H9) dem spezifizierten Luftschneidbetrag (H2) annähert.

2. Numerische Steuervorrichtung (1) gemäß Anspruch 1, wobei ein Luftschneidbereich zu einer Zeit, zu der das Werkzeug während des Vibrationsschneidens in Bezug auf das Werkstück Luft schneidet, basierend auf einem Betrag der Änderung des Schneidlastbetrags (H4) bestimmt wird, und wobei der geschätzte Luftschneidbetrag (H9) durch Berechnen des Luftschneidbetrags in dem Luftschneidbereich geschätzt wird.

3. Numerische Steuervorrichtung (1) zur Bearbeitung eines Werkstücks bei der Durchführung von Vibrationsschneiden, bei dem ein Werkzeug und das Werkstück relativ zueinander schwingen, indem eine erste Achse zum Antreiben des Werkzeugs oder eine zweite Achse zum Antreiben des Werkstücks angetrieben werden, wobei die Vorrichtung (1) umfasst:

eine Parametereinstelleinheit (40) zum Einstellen eines Parameters, der in Bezug zu einer Schwingungsgegebenheit für das Vibrationsschneiden während des Vibrationsschneidens steht, und zwar basierend auf einem Betrag einer Schneidlast (H4), die an der ersten Achse oder der zweiten Achse erzeugt wird und die sich während des Vibrationsschneidens ändert; und  
eine Steuerung (10) zum Steuern des Vibrationsschneidens unter Verwendung des eingestellten Parameters (H6), wobei die Parametereinstelleinheit (40) den Parameter berechnet, mit dem ein geschätzter Wert des Luftschneidbetrags zu einer Zeit, zu der das Werkzeug während des Vibrationsschneidens in Bezug

auf das Werkstück Luft schneidet, ein minimaler Luftschneidbetrag größer als null wird.

4. Numerische Steuervorrichtung (1) gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei der Parameter ein Schwingungsamplituden-Vorschub-Verhältnis umfasst, das ein Verhältnis zwischen einem Amplitudenbetrag der Schwingung des Werkstücks und einer Vorschubgeschwindigkeit des Werkzeugs in eine Richtung parallel zu der zweiten Achse ist.

5. Numerische Steuervorrichtung (1) gemäß Anspruch 1, ferner umfassend:  
eine Lernvorrichtung (60) zum Lernen des Parameters, wobei die Lernvorrichtung (60)  
eine Datengewinnungseinheit (61) zum Gewinnen von Trainingsdaten umfasst, die den geschätzten Luftschneidbetrag (H9) und den Parameter umfassen, der dem geschätzten Luftschneidbetrag (H9) zugeordnet ist, und  
eine Modellerzeugungseinheit (62) zum Erzeugen eines gelernten Modells zum Inferieren des Parameters aus dem geschätzten Luftschneidbetrag (H9) unter Verwendung der Trainingsdaten umfasst.

6. Numerische Steuervorrichtung (1) gemäß Anspruch 1, ferner umfassend:  
eine Inferenzvorrichtung (70) zum Inferieren des Parameters, wobei die Inferenzvorrichtung (70)  
eine Datengewinnungseinheit (71) zum Gewinnen des geschätzten Luftschneidbetrags (H9) und  
eine Inferenzeinheit (72) zum Ausgeben des Parameters aus dem durch die Datengewinnungseinheit (71) gewonnenen geschätzten Luftschneidbetrag (H9) unter Verwendung eines gelernten Modells zum Inferieren des Parameters aus dem geschätzten Luftschneidbetrag (H9) umfasst.

7. Lernvorrichtung (60), umfassend:  
eine Datengewinnungseinheit (61) zum Gewinnen von Trainingsdaten, die einen geschätzten Luftschneidbetrag (H9), der ein geschätzter Wert eines Betrags des Luftschneidens eines Werkzeugs in Bezug auf ein Werkstück ist, wenn an dem Werkstück mit dem Werkzeug Vibrationsschneiden durchgeführt wird und das Werkzeug und das Werkstück relativ zueinander schwingen, indem eine erste Achse zum Antreiben des Werkzeugs oder eine zweite Achse zum Antreiben des Werkstücks angetrieben werden, und einen Parameter umfassen, der bei dem Vibrationsschneiden verwendet wird und im Zusammenhang mit dem geschätzten Luftschneidbetrag (H9) steht; und  
eine Modellerzeugungseinheit (62), zum Erzeugen eines gelernten Modells zum Inferieren des Parameters aus dem geschätzten Luftschneidbetrag (H9) unter Verwendung der Trainingsdaten.

8. Lernvorrichtung (60) gemäß Anspruch 7, wobei die Datengewinnungseinheit (61) die Trainingsdaten gewinnt, welche den geschätzten Luftschneidbetrag (H9), einen spezifizierten Luftschneidbetrag (H2), der ein Befehlswert des Luftschneidbetrags ist, und den Parameter umfassen, der dem geschätzten Luftschneidbetrag (H9) und dem spezifizierten Luftschneidbetrag (H2) zugeordnet ist, und wobei die Modellerzeugungseinheit (62) das gelernte Modell zum Inferieren des Parameters aus dem geschätzten Luftschneidbetrag (H9) und dem spezifizierten Luftschneidbetrag (H2) unter Verwendung der Trainingsdaten erzeugt.

9. Inferenzvorrichtung (70), umfassend: eine Datengewinnungseinheit (71) zum Gewinnen eines geschätzten Luftschneidbetrags (H9), der ein geschätzter Wert eines Betrags des Luftschneidens eines Werkzeugs in Bezug auf ein Werkstück ist, wenn Vibrationsschneiden an dem Werkstück durchgeführt wird, wobei das Werkzeug und das Werkstück relativ zueinander schwingen, indem eine erste Achse zum Antreiben des Werkzeugs oder eine zweite Achse zum Antreiben des Werkstücks angetrieben werden; und eine Inferenzeinheit (72) zum Inferieren eines Parameters, der bei dem Vibrationsschneiden verwendet wird, aus dem durch die Datengewinnungseinheit (71) gewonnen geschätzten Luftschneidbetrag (H9) unter Verwendung eines gelernten Modells zum Inferieren des Parameters aus dem geschätzten Luftschneidbetrag (H9), und zum Ausgeben des inferierten Parameters.

10. Inferenzvorrichtung (70) gemäß Anspruch 9, wobei die Datengewinnungseinheit (71) den geschätzten Luftschneidbetrag (H9) und einen spezifizierten Luftschneidbetrag (H2), der ein Befehlswert des Luftschneidens ist, gewinnt, wobei die Inferenzeinheit (72) den Parameter aus dem geschätzten Luftschneidbetrag (H9) und dem spezifizierten Luftschneidbetrag (H2) inferiert, die durch die Datengewinnungseinheit (71) gewonnen wurden, inferiert, und zwar unter Verwendung des gelernten Modells zum Inferieren des Parameters aus dem geschätzten Luftschneidbetrag (H9) und dem spezifizierten Luftschneidbetrag (H2), und wobei die Inferenzeinheit den inferierten Parameter ausgibt.

11. Numerisches Steuerverfahren zum Bearbeiten eines Werkstücks während des Durchführens von Vibrationsschneiden, bei dem ein Werkzeug und das Werkstück relativ zueinander schwingen, indem eine erste Achse zum Antreiben des Werkzeugs oder eine zweite Achse zum Antreiben des Werkstücks angetrieben werden, wobei das Verfahren umfasst:  
einen Parametereinstellschritt des Einstellens eines

Parameters, der in Bezug zu einer Schwingungsgegebenheit für das Vibrationsschneiden während des Vibrationsschneidens steht, durch eine numerische Steuervorrichtung (1), und zwar basierend auf einem Betrag einer Schneidlast (H4), die an der ersten Achse oder der zweiten Achse erzeugt wird und die sich während des Vibrationsschneidens ändert; und einen Steuerungsschritt des Steuerns des Vibrationsschneidens unter Verwendung des eingestellten Parameters (H6) durch die numerische Steuervorrichtung (1), wobei in dem Parametereinstellschritt dann, wenn eine Differenz zwischen einem spezifizierten Luftschneidbetrag (H2), der ein Befehlswert eines Luftschneidbetrags zu einer Zeit ist, zu der das Werkzeug während des Vibrationsschneidens in Bezug auf das Werkstück Luft schneidet, und einem geschätzten Luftschneidbetrag (H9), der ein geschätzter Wert des Luftschneidbetrags ist, besteht, die numerische Steuervorrichtung (1) den Parameter berechnet, bei dem sich der geschätzte Luftschneidbetrag (H9) dem spezifizierten Luftschneidbetrag (H2) annähert.

12. Numerisches Steuerverfahren zum Bearbeiten eines Werkstücks während des Durchführens von Vibrationsschneiden, bei dem ein Werkzeug und das Werkstück relativ zueinander schwingen, indem eine erste Achse zum Antreiben des Werkzeugs oder eine zweite Achse zum Antreiben des Werkstücks angetrieben werden, wobei das Verfahren umfasst:  
einen Parametereinstellschritt des Einstellens eines Parameters, der in Bezug zu einer Schwingungsgegebenheit für das Vibrationsschneiden während des Vibrationsschneidens steht, durch eine numerische Steuervorrichtung (1), und zwar basierend auf einem Betrag einer Schneidlast (H4), die an der ersten Achse oder der zweiten Achse erzeugt wird und die sich während des Vibrationsschneidens ändert; und einen Steuerungsschritt des Steuerns des Vibrationsschneidens unter Verwendung des eingestellten Parameters (H6) durch die numerische Steuervorrichtung (1), wobei in dem Parametereinstellschritt die numerische Steuervorrichtung (1) den Parameter berechnet, mit dem ein geschätzter Wert eines Luftschneidbetrags zu einer Zeit, zu der das Werkzeug während des Vibrationsschneidens in Bezug auf das Werkstück Luft schneidet, ein minimaler Luftschneidbetrag größer als null wird.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG.1

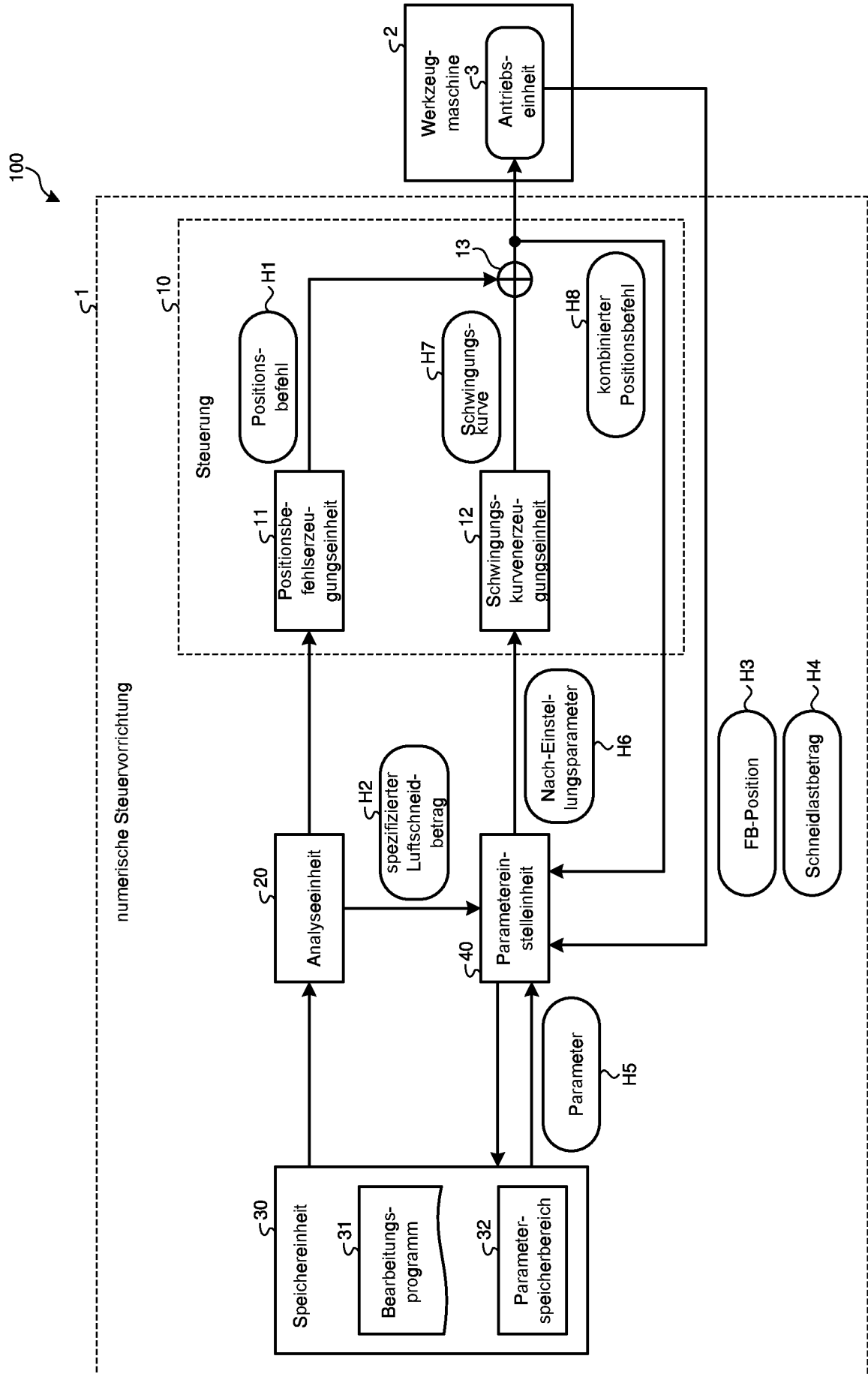


FIG.2

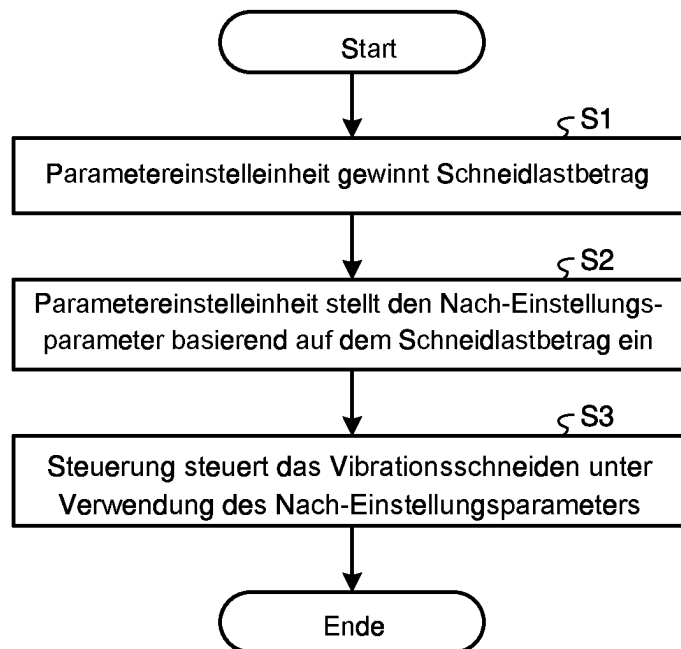


FIG.3

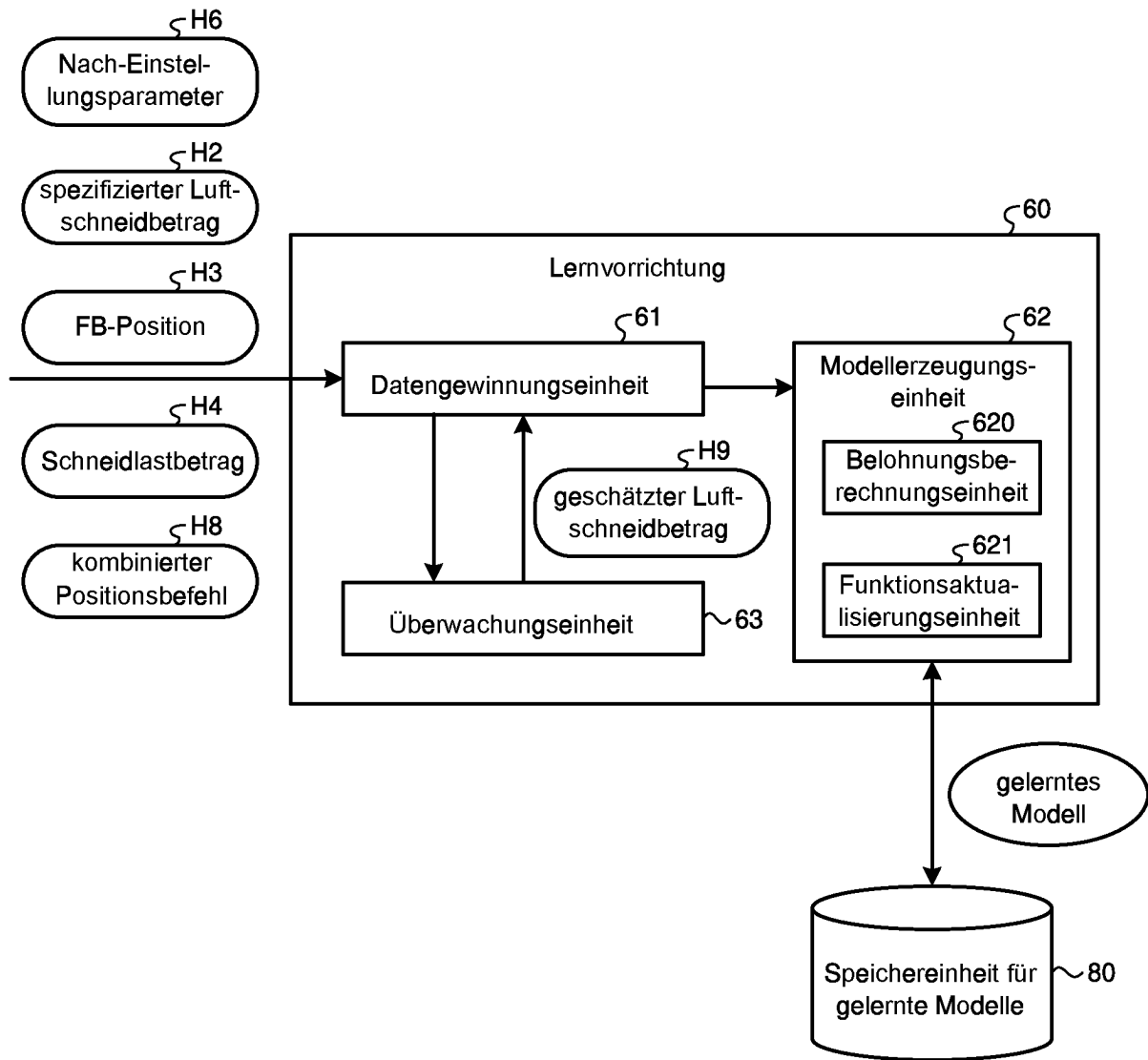


FIG.4

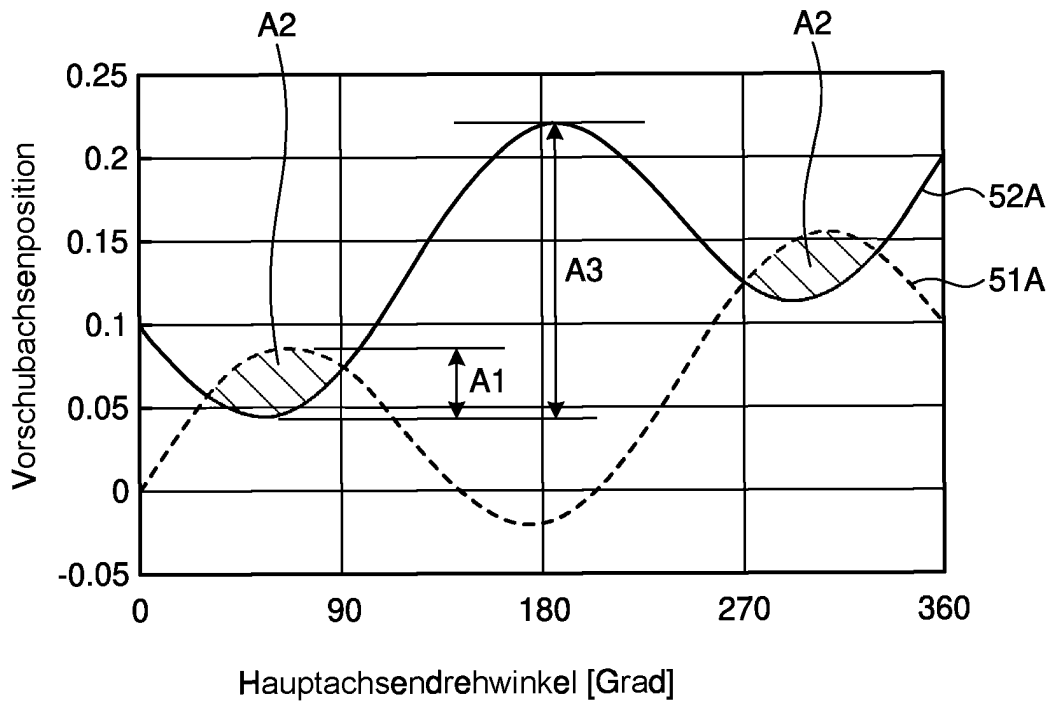


FIG.5

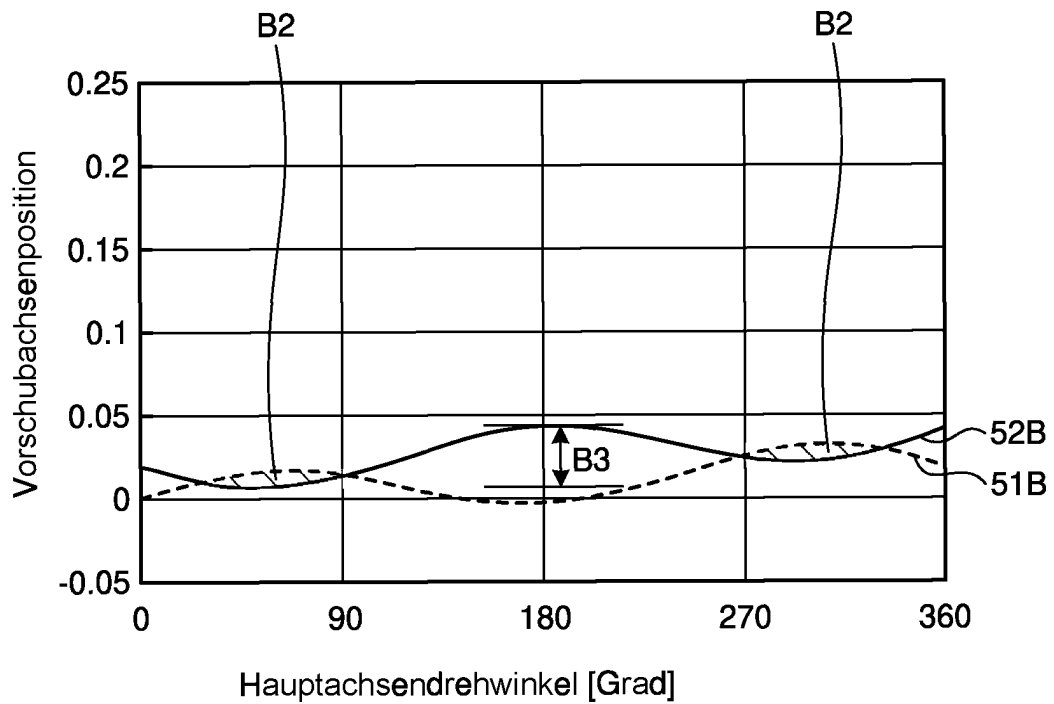


FIG.6

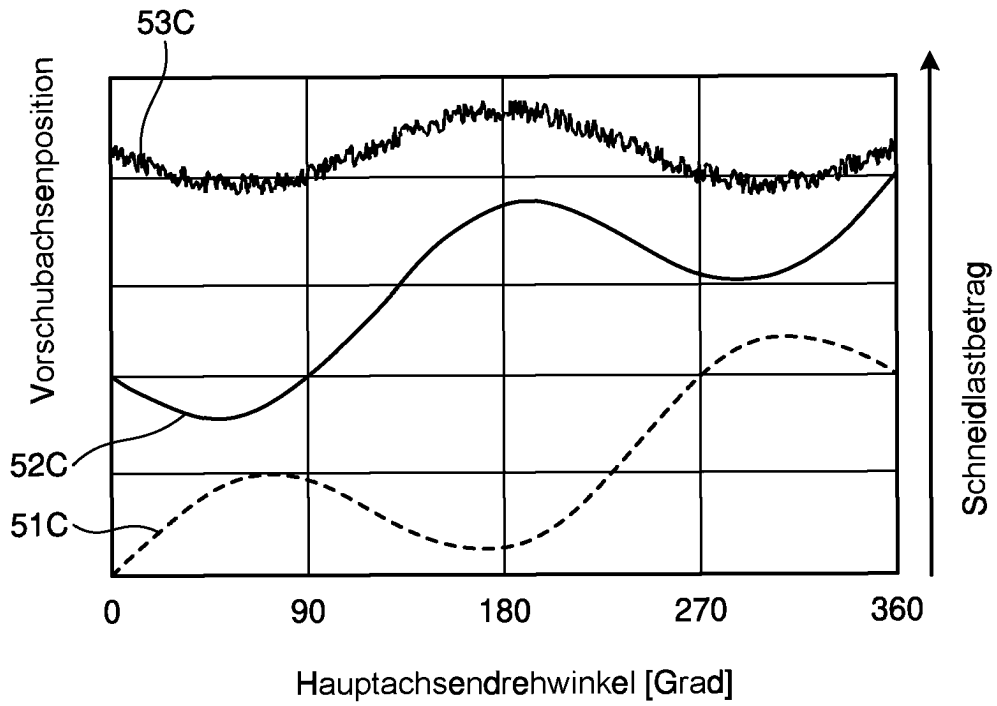


FIG.7

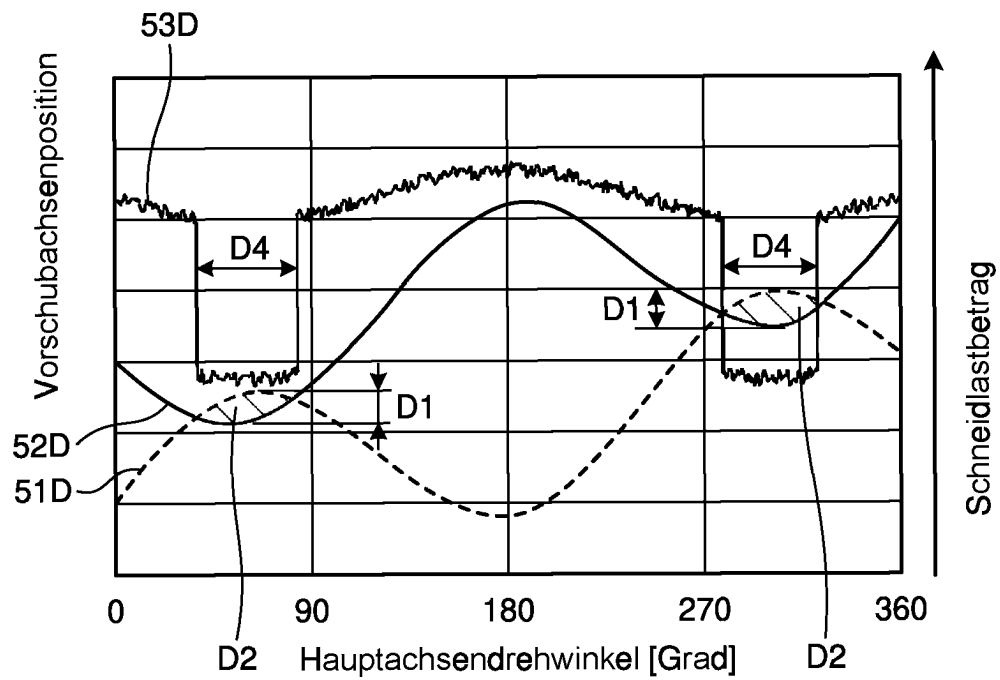


FIG.8

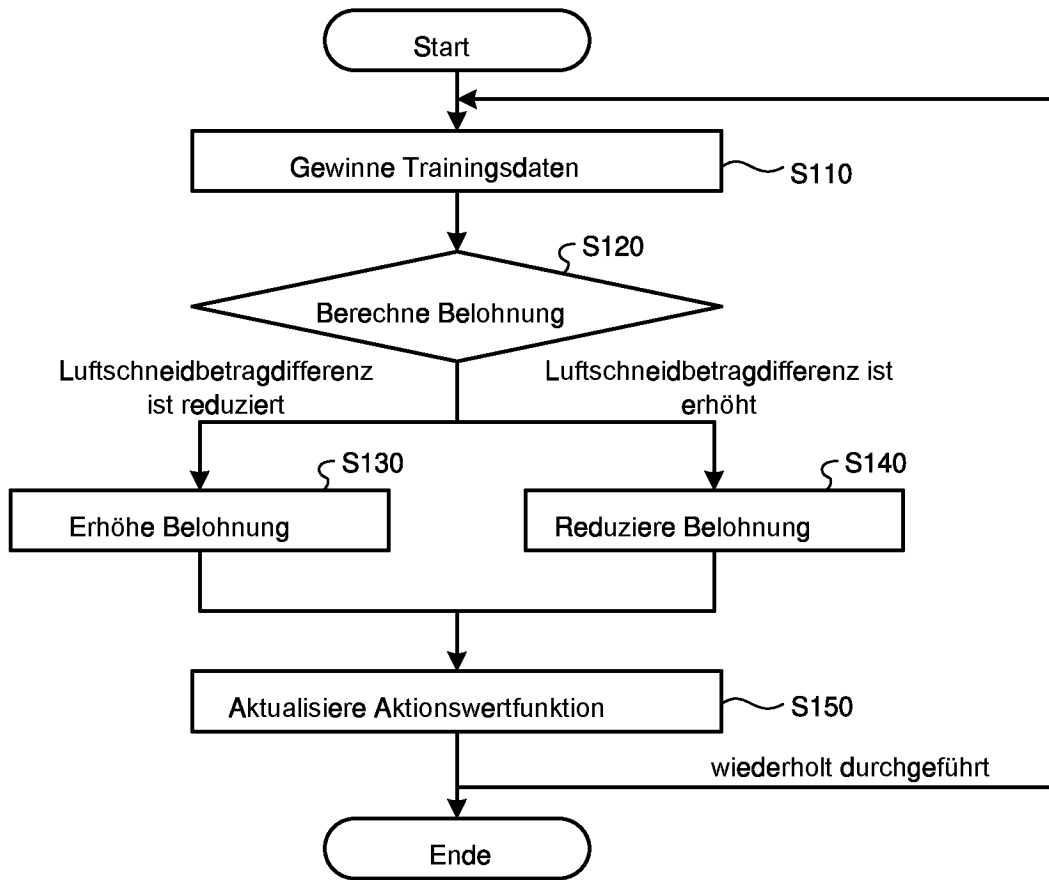


FIG.9

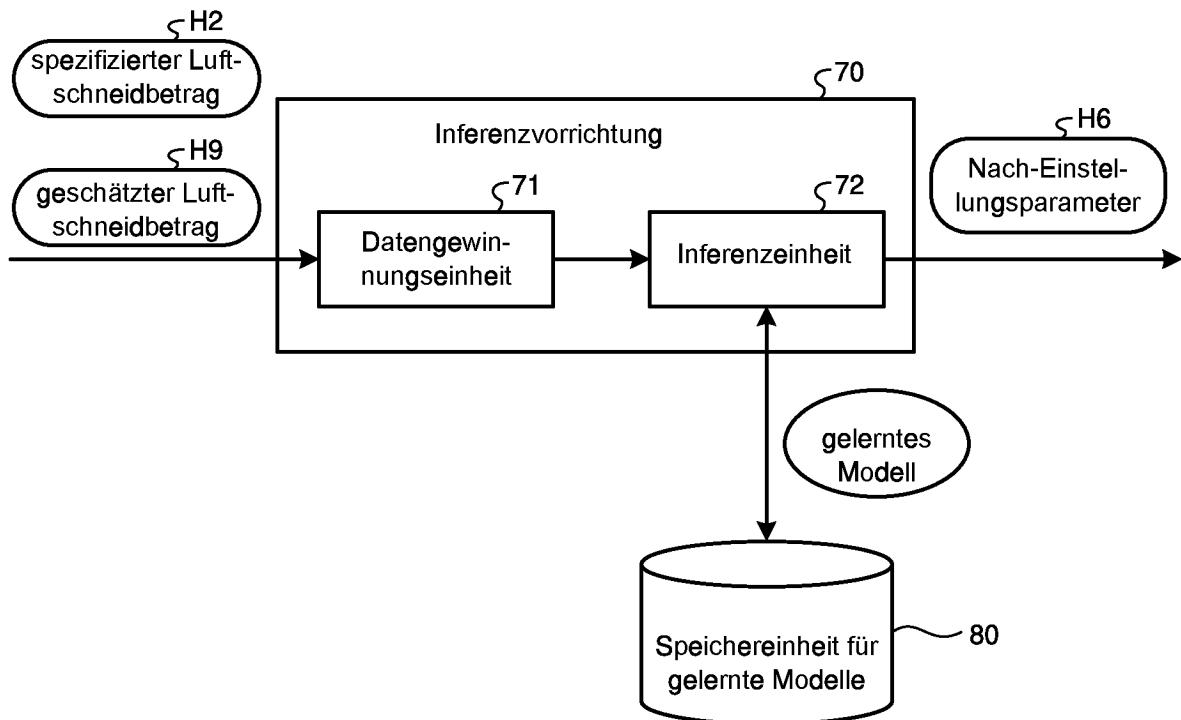


FIG.10

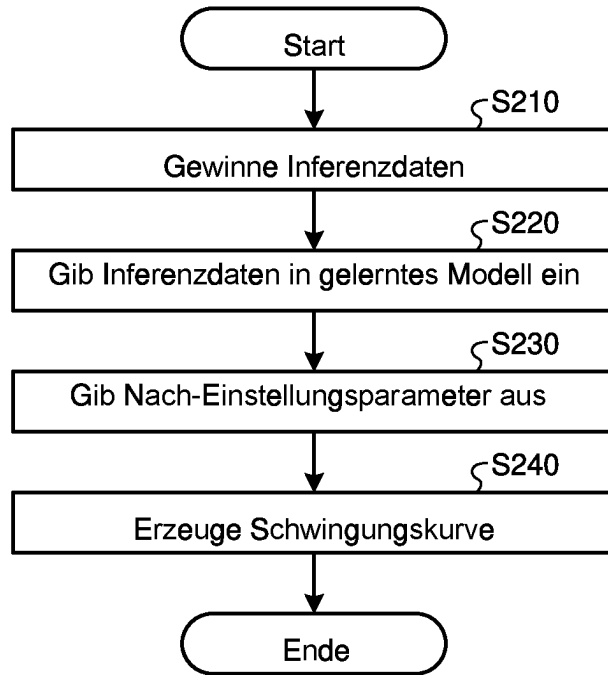


FIG.11

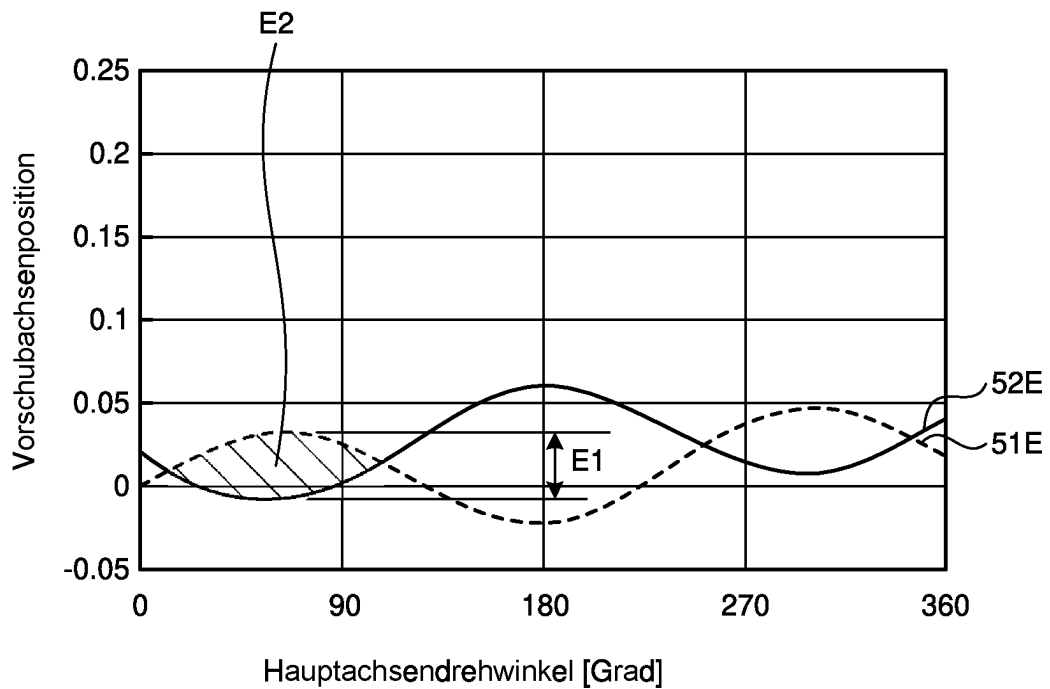


FIG.12

