



(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2019 215 634.7**
(22) Anmeldetag: **11.10.2019**
(43) Offenlegungstag: **16.04.2020**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **08.02.2024**

(51) Int Cl.: **B23Q 15/18 (2006.01)**
B23Q 23/00 (2006.01)
G05B 19/404 (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).

(30) Unionspriorität:
2018-193338 12.10.2018 JP

(73) Patentinhaber:
**FANUC CORPORATION, Oshino-mura,
Yamanashi, JP**

(74) Vertreter:
**HOFFMANN - EITL Patent- und Rechtsanwälte
PartmbB, 81925 München, DE**

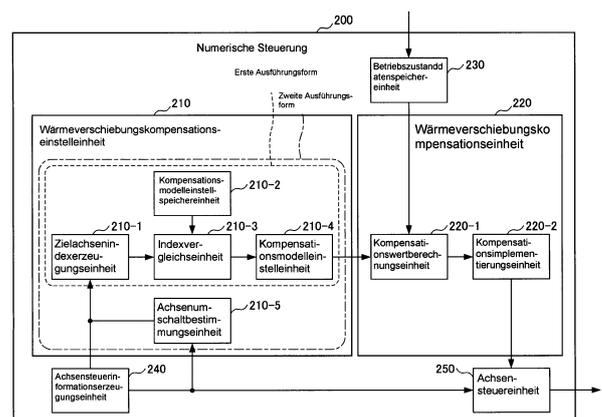
(72) Erfinder:
Susumu, Yasuaki, Oshino-mura, Yamanashi, JP

(56) Ermittelter Stand der Technik:

| | | |
|----|-----------------|----|
| DE | 10 2011 089 617 | A1 |
| JP | 5 568 005 | B2 |
| JP | 2017- 170 532 | A |
| JP | 2018- 111 145 | A |

(54) Bezeichnung: **Wärmeverschiebungskompensationsvorrichtung und numerische Steuerung**

(57) Hauptanspruch: Eine Wärmeverschiebungs-Kompensations-Vorrichtung (200), umfassend:
eine Wärmeverschiebungs-Kompensations-Einstelleinheit (210), die einen Index einer Achsenkombination als ein Ziel der Implementierung der Wärmeverschiebungs-Kompensation aus Steuerachsen-Informationsdaten, in denen eine Steuerachse erkennbar ist, einstellt und einen Index eines Kompensationsmodells findet, das mit dem Index übereinstimmt, wodurch ein entsprechendes Kompensationsmodell ausgewählt wird; und
eine Wärmeverschiebungs-Kompensations-Einheit (220), die einen Kompensationswert aus Betriebszustandsdaten mit Korrelation zur Wärmeverschiebung und aus dem gewählten Kompensationsmodell berechnet.



Beschreibung

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

Gebiet der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Wärmeverschiebungs-Kompensations-Vorrichtung und eine numerische Steuerung mit der Funktion der automatischen Einstellung eines Wärmeverschiebungs-Kompensationsmodells.

Stand der Technik

[0002] Nach einer konventionell vorgeschlagenen Technik werden die auf die Spezifikation einer Werkzeugmaschine reagierenden Maschineninformationen lesbar gemacht und ein Schätzparameter (Kompensationsmodell) für die Wärmeverschiebungskompensation auf der Basis der Maschineninformationen ausgewählt (z.B. Patentedokument 1). Nach dieser Technik ist es auch im Falle einer Werkzeugmaschine mit einer großen Anzahl von Spezifikationen möglich, durch die Bereitstellung einer Vorrichtung zur Schätzung des Kompensationswerts zur Schätzung eines jeder Spezifikation entsprechenden Wärmeverschiebungskompensationswerts der Werkzeugmaschine, einer automatischen Parameterauswahlvorrichtung usw., einen zu jeder Spezifikation gehörenden Parameter aus einer Datenbank auf der Grundlage von dieser Spezifikation entsprechenden Maschineninformationen auszuwählen. Gemäß dieser Technik wird außerdem eine geschätzte Wärmeverschiebung an jedem Maschinenteil unter Verwendung des gewählten Parameters berechnet und die geschätzten Wärmeverschiebungen werden addiert.

[0003] Es wurde auch eine Technik vorgeschlagen, die die schnelle Änderung eines Wärmeverschiebungskompensationswertes, die während des Umschaltens zwischen einer Vielzahl von Wärmeverschiebungskompensationsmodellen auftritt, aufhebt (z.B. Patentedokument 2). Nach dieser Technik werden ein erstes Kompensationsmodell und ein zweites Kompensationsmodell als Wärmeverschiebungskompensationsmodelle erstellt. Beim Umschalten zwischen diesen Modellen (z.B. vom ersten Modell zum zweiten Modell) wird ein Kompensationswert eines Sollwertes über eine Differenz zwischen Kompensationswerten und einem Kompensationswert über das zweite Kompensationsmodell ermittelt (Komplementierung eines Kompensationswertes). Damit ermöglicht diese Technik die Aufhebung der schnellen Änderung eines Kompensationswertes. Das Umschalten eines Kompensationsmodells erfolgt auf der Basis einer Koordinatenposition.

[0004] Es wurde eine Wärmeverschiebungs-Kompensationsfunktion vorgeschlagen, bei der eine Wärmeverschiebung einer Werkzeugmaschine aus einem Wärmeverschiebungskompensationsmodell und Temperaturdaten abgeschätzt wird und ein der Wärmeverschiebung entsprechender Kompensationswert zu einem Achsenhub addiert wird (z.B. Patentedokument 3). Nach dieser Technik wird z.B. durch maschinelles Lernen ein Wärmeverschiebungskompensationsmodell erstellt und aus dem Kompensationsmodell und Betriebszustandsdaten (z.B. Temperaturdaten) ein Kompensationswert berechnet. Ist die Differenz zwischen einem geschätzten Wert und einem tatsächlich gemessenen Wert kein Schwellenwert oder nicht kleiner als der Schwellenwert, wird nach dieser Technik erneut ein Kompensationsmodell berechnet.

[0005] Fig. 12 ist eine erklärende Ansicht dieser Technik. Eine Werkzeugmaschine 1 ist mit einem Temperatursensor 2 und einem Verschiebungssensor 3 ausgestattet, um die Erfassung einer Temperatur und einer Verschiebung zu ermöglichen. Die Werkzeugmaschine 1 umfasst verschiedene Arten von Werkzeugmaschinen wie z.B. ein Bearbeitungszentrum (mit einer x-, y- und z-Achse), eine Drehmaschine (nur mit einer x- und z-Achse) usw.

[0006] Die erfasste Temperatur und Verschiebung werden als Lerndaten 4 verwendet, um ein (Wärmeverschiebungs-) Kompensationsmodell 5 zu berechnen. Die Kompensationsmodellberechnung 5 ist die Berechnung der Bestimmung eines Wärmeverschiebungskompensationsmodells 5-3 durch maschinelles Lernen. Genauer gesagt wird diese Berechnung durch die Lernsoftware 5-1 durchgeführt, indem man auf der Basis der Lerndaten 4 das maschinelle Lernen 5-2 implementiert und das Wärmeverschiebungskompensationsmodell 5-3 erstellt. Das Patentedokument 3 (japanische ungeprüfte Patentanmeldung, Publikation Nr. 2018-111145) offenbart eine dieser Techniken zur Erstellung eines Wärmeverschiebungskompensationsmodells durch maschinelles Lernen. Die Erstellung von Trainingsdaten durch die Anwendung einer Technik, wie sie im Patentedokument 3 offenbart wird, ist eine der bevorzugten Methoden. Die Lernsoftware 5-1 kann auf einem vorgegebenen Computer ausgeführt werden. Die Lerndaten 4 können Daten sein, die vor der Bearbeitung im Voraus erfasst wurden.

[0007] Anschließend erfolgt die Berechnung und Ausgabe des Kompensationswertes 6 während eines tatsächlichen Bearbeitungsprozesses mit dem ermittelten Wärmeverschiebungskompensationsmodell 5-3. Die Kompensationswertberechnung und -ausgabe 6 kann z.B. von einer computergesteuerten numerischen Steuerung (CNC) 6-2 durchgeführt werden. Die CNC-Vorrichtung 6-2 berechnet einen Befehl (Achshub), die der Werkzeugmaschine 1 zu

übergeben ist, und gibt den berechneten Befehl aus. Zu diesem Zeitpunkt berechnet die CNC-Vorrichtung 6-2 einen Kompensationswert unter Verwendung des Modells 5-3 zur Wärmeverschiebungskompensation und addiert den Kompensationswert zu einem Achshub. Der auf diese Weise kompen-sierte Achshub wird an die Werkzeugmaschine 1 ausgegeben. Als Reaktion darauf führt die Werk-zeugmaschine 1 ihre Arbeit aus, indem sie dem Achshub folgt, der der Kompensation 6-3 unterliegt. Währenddessen enthält die Werkzeugmaschine 1 den Temperatursensor 2. Eine Temperaturerfas-sungseinheit 6-1 liest eine Temperatur vom Tempe-raturfühler 2 ab und liefert die abgelesene Tempera-tur an die CNC-Vorrichtung 6-2. Die CNC-Vorrichtung 6-2 führt die Kompensationswertberechnung durch und gibt mit Hilfe des Modells 5-3 zur Wärmeverschiebungskompensation auf der Grund-lage der gelieferten Temperatur den Wert 6 aus. Danach wird der gleiche Vorgang wiederholt. Dadurch wird die resultierende Bearbeitung unemp-findlich gegen den Einfluss der Wärme. Ein solcher Prozess ist bereits vorhanden und kann z.B. als Wär-meverschiebungskompensation-AI bezeichnet wer-den.

Patentdokument 1: JP 5 568 005 B2

Patentdokument 2: JP 2017 - 170 532 A

Patentdokument 3: JP 2018 - 111 145 A

Patentdokument 4: DE 10 2011 089 617 A1

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0008] Von der vorgenannten Technik wird erwartet, dass sie eine wärmeunempfindliche Bearbeitung realisiert. Die in Patentdokument 3 offengelegte Technik erfordert jedoch ein Kompensationsmodell, das für jede Achsenkombination in einem Pfad geän-dert werden muss. Dies macht es erforderlich, dass der Benutzer manuell einen Pfad (Achskombination) und ein auf diesen Pfad anzuwendendes Kompensa-tionsmodell zuweisen muss.

[0009] Es ergeben sich nämlich die folgenden Pro-bleme:

(1) Vor der Bearbeitung sollte ein zu verwendender Pfad und ein Kompensationsmodell zuge-ordnet werden. Eine Erhöhung der Anzahl der Pfade birgt das Risiko einer „Zunahme von Fehl-einstellungen“ und „einer höheren Belastung für den Benutzer“.

(2) Wird eine Achskombination während der Bearbeitung z.B. durch eine Achsumschalt-steuerung geändert, wird es schwierig, ein Kom-pensationsmodell in Abhängigkeit von der Achs-kombination automatisch umzuschalten.

[0010] Diese Probleme sind in **Fig. 13** dargestellt. In der Abbildung von **Fig. 13** werden vier Arten von Kompensationsmodellen vorbereitet, darunter ein Kompensationsmodell 1 (7-1), ein Kompensationsmodell 2 (7-2), ein Kompensationsmodell 3 (7-3) und ein Kompensationsmodell 4 (7-4). **Fig. 13** zeigt ferner, dass einen Pfad 1 (8) eine X1-Achse 10 und eine Z1-Achse 11 und einen Pfad 2 (9) eine X2-Achse 12 und eine Z2-Achse 13 umfasst. Vor der Implementierung der Bearbeitung ist ein Kompensa-tionsmodell erforderlich, dass der X1-Achse 10 und der Z1-Achse 11 in dem Pfad 1 (8) zugeordnet wer-den muss. Ebenso ist vor der Implementierung der Bearbeitung ein Kompensationsmodell erforderlich, dass der X2-Achse 12 und der Z2-Achse 13 auf dem Pfad 2 (9) zugeordnet werden muss. Als Reak-tion auf das Auftreten von Ereignissen, wie z.B. das Umschalten zwischen den Achsen während der Bearbeitung, muss der Benutzer ein geeignetes Kompensationsmodell auswählen und zu diesem Kompensationsmodell wechseln. Es wird davon aus-gegangen, dass dies eine Tendenz zu einer stärkeren Belastung des Benutzers mit sich bringt.

[0011] Weiterhin werden die folgenden Punkte auf alle Patentdokumente 1, 2 und 3 angewendet:

(3) Die automatische Einstellung eines Kom-pensationsmodells in Abhängigkeit von einer Pfad- und Achsenkombination wird nicht in Betracht gezogen.

(4) Es wird nicht davon ausgegangen, dass in Echtzeit Informationen über die Achskombina-tionen einer Werkzeugmaschine erfasst werden und dass ein Kompensationsmodell auch wäh-rend der Bearbeitung automatisch umgeschaltet wird.

[0012] Daher sind die Patentdokumente 1, 2 und 3 mit einem hohen manuellen Aufwand für den Benut-zer verbunden, um den Benutzer stark zu belasten.

[0013] In Anbetracht der vorgenannten Umstände soll mit dieser Erfindung eine Vorrichtung zur Kom-pensation der Wärmeverschiebung bereitgestellt werden, die in der Lage ist, einen Index für eine Ach-senkombination in einem Pfad einzustellen und anhand des Index ein geeignetes Kompensationsmodell auszuwählen. Die vorliegende Erfindung soll ferner eine numerische Steuerung mit dieser Wärme-verschiebungs-Kompensations-Vorrichtung bereit-stellen.

[0014] Gelöst wird die Aufgabe durch eine Wärme-verschiebungs-Kompensations-Vorrichtung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 sowie durch eine numerische Steuerung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 8.

[0015] Eine Wärmeverschiebungs-Kompensations-Vorrichtung nach der vorliegenden Erfindung (z.B. die später beschriebene numerische Steuerung 200) umfasst: eine Wärmeverschiebungs-Kompensations-Einstelleinheit (z.B. die später beschriebene Wärmeverschiebungskompensations-Einstelleinheit 210), die einen Index einer Achsenkombination als ein Ziel der Implementierung der Wärmeverschiebungskompensation aus Steuerachsen-Informationsdaten, in denen eine Steuerachse erkennbar ist, einstellt und einen Index eines Kompensationsmodells findet, das mit dem Index übereinstimmt, wodurch ein entsprechendes Kompensationsmodell ausgewählt wird; und eine Wärmeverschiebungskompensations-Einheit (z.B. die später beschriebene Wärmeverschiebungskompensations-Einheit 220), die einen Kompensationswert aus Betriebszustandsdaten, die eine Korrelation mit der Wärmeverschiebung aufweisen, und aus dem Kompensationsmodell berechnet.

[0016] Die Wärmeverschiebungs-Kompensations-Einstelleinheit kann umfassen: eine Zielachsenindex-Erzeugungseinheit (z.B. die später beschriebene Zielachsenindex-Erzeugungseinheit 210-1), die einen Zielachsenindex, der eine Achsenkombination für jeden Pfad angibt, auf der Grundlage der Steuerachsen-Informationsdaten erzeugt; eine Kompensationsmodell-Satzspeichereinheit (z.B. die später beschriebene Kompensationsmodell-Satzspeichereinheit 210-2), die einen Satz eines Kompensationsmodells und einen Kompensationsmodellindex, der eine für die Kompensation vorgesehene Achsenkombination angibt, speichert; eine Indexvergleichseinheit (z.B. die später beschriebene Indexvergleichseinheit 210-3), die den erzeugten Zielachsenindex und den Kompensationsmodellindex vergleicht; und eine Kompensationsmodell-Einstelleinheit (z.B. die später beschriebene Kompensationsmodell-Einstelleinheit 210-4). Wenn die Indexvergleichseinheit feststellt, dass der Zielachsenindex und der Kompensationsmodellindex übereinstimmen, stellt die Kompensationsmodell-Einstelleinheit das dem übereinstimmenden Kompensationsmodellindex entsprechende Kompensationsmodell für den Pfad, für den der Zielachsenindex erzeugt wurde, ein.

[0017] Der Zielachsenindex kann ein Vektor sein, der eine Zielachsennummer enthält, die jede Achse angibt, und die Anzahl der Zielachsennummern kann mindestens der Anzahl der Achsen in einem Pfad entsprechen. Die Zielachsennummer kann eine Zahl sein, die aus einer Pfadnummer und einer Achsennummer berechnet wird und zur Erkennung einer entsprechenden Achse verwendet werden kann.

[0018] Der Kompensationsmodellindex kann ein Vektor sein, der eine Kompensationsachsennummer enthält, die jede Achse angibt, und die Anzahl der

Kompensationsachsennummern kann mindestens der Anzahl der Achsen in einem Pfad entsprechen. Die Kompensationsachsennummer kann eine Zahl sein, die aus einer Pfadnummer und einer Achsennummer berechnet wird und zur Erkennung einer entsprechenden Achse verwendet werden kann.

[0019] Es kann eine Benachrichtigungseinheit vorgesehen werden, die das Fehlen eines entsprechenden Kompensationsmodells meldet, wenn die Indexvergleichseinheit den Kompensationsmodellindex, der dem Zielachsenindex entspricht, nicht gefunden hat.

[0020] Es kann eine Achsumschaltungs-Ermittlungseinheit (z.B. die später beschriebene Achsumschaltungs-Ermittlungseinheit 210-5) vorgesehen werden, die das Auftreten einer Änderung der Achsenkombination in einem beliebigen Pfad erkennt und eine andere Einheit in der Einstellvorrichtung für die Wärmeverschiebungskompensation als die Achsumschaltungs-Ermittlungseinheit anweist, das Kompensationsmodell zurückzusetzen.

[0021] Erkennt die Achsumschaltungs-Ermittlungseinheit anhand der von einer Achsensteuerungs-Informationserzeugungseinheit erzeugten Steuerachseninformationsdaten das Auftreten einer Änderung der Achskombination, kann die Zielachsenindex-Erzeugungseinheit erneut einen Zielachsenindex erzeugen.

[0022] Eine numerische Steuerung (z.B. die später beschriebene numerische Steuerung 200), die einen Befehl an eine Werkzeugmaschine ausgibt, kann aus einer Achsensteuerung (z.B. die später beschriebene Achsensteuerung 250) bestehen, die den von der vorhergehenden Wärmeverschiebungskompensations-Vorrichtung (z.B. die später beschriebene Wärmeverschiebungskompensations-Vorrichtung 220) berechneten Kompensationswert zum Befehl addiert und den kompensierten Befehl an die Werkzeugmaschine ausgibt.

[0023] Die numerische Steuerung (z.B. die später beschriebene numerische Steuerung 200) kann aus einem Betriebszustandsdaten-Speicher (z.B. der später beschriebene Betriebszustandsdaten-Speicher 230) bestehen, der die Betriebszustandsdaten, die einen Betriebszustand der Werkzeugmaschine anzeigen, speichert und die Betriebszustandsdaten an die Wärmeverschiebungskompensations-Einheit liefert.

[0024] Die vorliegende Erfindung ermöglicht es, für jede Achskombination in einem Pfad automatisch ein geeignetes Kompensationsmodell einzustellen. Wird eine Achsenumschaltsteuerung angewendet, um eine Achsenkombination in einem Pfad während der Bearbeitung zu ändern, erlaubt die vorliegende Erfindung, ein Kompensationsmodell als Reaktion

auf die geänderte Achsenkombination automatisch umzuschalten.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Fig. 1 ist ein Prinzipdiagramm, das die Prinzipien der vorliegenden Erfindung zeigt;

Fig. 2 ist ein Blockdiagramm einer numerischen Steuerung nach einer ersten Verkörperung der vorliegenden Erfindung;

Fig. 3 ist eine erläuternde Ansicht zur Erläuterung der Herstellung eines Zielachsenindex aus einem Parameter, der sich auf eine Steuerachse einer Werkzeugmaschine bezieht, gemäß der ersten Verkörperung der vorliegenden Erfindung;

Fig. 4 ist eine erläuternde Ansicht zur Erläuterung des Vorgangs der Erstellung des Zielachsenindex aus dem Parameter, der sich auf die Steuerachse der Werkzeugmaschine bezieht, gemäß der ersten Verkörperung der vorliegenden Erfindung;

Fig. 5 ist eine erklärende Ansicht zur Erläuterung der Operation des Vergleichs eines Kompensationsmodellindex jedes Kompensationsmodells, das durch eine Lernsoftware eingestellt wird, und eines Zielachsenindex und der Einstellung eines Kompensationsmodells für jeden Pfad gemäß der ersten Verkörperung der vorliegenden Erfindung;

Fig. 6 ist eine erklärende Ansicht zur Erläuterung der Operation des Vergleichs des Kompensationsmodellindex jedes durch die Lernsoftware eingestellten Kompensationsmodells und des Zielachsenindex und des Einstellens des Kompensationsmodells für jeden Pfad gemäß der ersten Verkörperung der vorliegenden Erfindung;

Fig. 7 ist ein Flussdiagramm, das die Funktionsweise einer numerischen Steuerung 200 gemäß der ersten Verkörperung der vorliegenden Erfindung zeigt;

Fig. 8 ist eine erläuternde Ansicht zur Erläuterung der Funktionsweise einer numerischen Steuerung 200 gemäß einer zweiten Verkörperung der vorliegenden Erfindung, die beim Auftreten von Achsenumschaltungen während der Bearbeitung durchgeführt wird;

Fig. 9 ist eine erklärende Ansicht zur Erläuterung der Funktionsweise der numerischen Steuerung 200 gemäß der zweiten Verkörperung der vorliegenden Erfindung, die beim Auftreten der Achsenumschaltung während der Bearbeitung durchgeführt wird;

Fig. 10 ist ein Flussdiagramm, das die Funktionsweise der numerischen Steuerung 200

gemäß der zweiten Verkörperung der vorliegenden Erfindung zeigt;

Fig. 11 ist ein Flussdiagramm, das die Funktionsweise der numerischen Steuerung 200 gemäß der zweiten Verkörperung der vorliegenden Erfindung zeigt;

Fig. 12 ist eine erklärende Ansicht zur Erläuterung einer konventionellen Wärmeverschiebungskompensationsfunktion; und **Fig. 13** ist eine erklärende Ansicht zur Erklärung der konventionellen Wärmeverschiebungskompensationsfunktion.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0025] Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden im Folgenden anhand der Zeichnungen beschrieben.

[Prinzipien]

[0026] **Fig. 1** ist ein Prinzipschema über die vorliegende Erfindung. (1) Zunächst gibt die Lernsoftware jedem Kompensationsmodell einen „Kompensationsmodellindex“, der einen zur Kompensation vorgesehenen Pfad und eine zur Kompensation vorgesehene Achsenkombination angibt. Genauer gesagt macht die Lernsoftware einen Kompensationsmodell-Index in Verbindung mit „Pfad“ und „Achsennummer“ und gibt jedem Kompensationsmodell den Kompensationsmodell-Index an. Dies ist in (1) von **Fig. 1** dargestellt. Als ein Mechanismus des maschinellen Lernens, der von einer solchen Lernsoftware ausgeführt wird, ist beispielsweise die Technik anwendbar, die in dem oben erwähnten Patentedokument 3 (Japanische unangemeldete Patentanmeldung, Veröffentlichungsnummer 2018-111145) offenbart wurde.

[0027] Gemäß (1) in **Fig. 1** gibt der Benutzer mit Hilfe der Lernsoftware einen Pfad und eine Achsennummer ein, die auf jedes Kompensationsmodell angewendet werden sollen. Die Lernsoftware ist eine Software, die auf einem vorgegebenen Computer läuft. Wie in **Fig. 12** dargestellt, kann der vorgegebene Computer ein anderer Computer als eine numerische Steuerung sein. Als Reaktion auf die Eingabe von „Pfadnummer“ p und „Achsennummer“ a1, a2 und a3 in ein Kompensationsmodell durch den Benutzer berechnet die Lernsoftware einen Kompensationsmodellindex aus der Eingabe „Pfad“ und „Achsennummer“ und gibt den berechneten Kompensationsmodellindex an das Kompensationsmodell weiter. Wie in A von **Fig. 1** dargestellt, wird der Kompensationsmodellindex als Vektor ausgedrückt. Ein Kompensationsmodell-Index: B wird wie folgt als (b1, b2, b3) ausgedrückt:

$$b1 = 100 * p + a1;$$

$$b2 = 100 * p + a2; \text{ und}$$

$$b3 = 100 * p + a3.$$

[0028] Auf diese Weise berechnet die Lernsoftware einen Kompensationsmodellindex jedes Kompensationsmodells und gibt den Kompensationsmodellindex an das entsprechende Kompensationsmodell weiter, wodurch eine Datei 100 über Kompensationsmodelle entsteht. In der Abbildung von **Fig. 1** enthält die Datei 100 über Kompensationsmodelle einen Kompensationsparameter zur Implementierung der Kompensation und einen Kompensationsmodellindex $B1 = \{b11, b21, b31\}$, der ein Kompensationsmodell 1 (100-1) definiert. Die Datei 100 über Kompensationsmodelle enthält ferner einen Kompensationsparameter für die Implementierung der Kompensation und einen Kompensationsmodellindex $B2 = \{b12, b22, b32\}$, der ein Kompensationsmodell 2 (100-2) definiert. Dies gilt auch für ein Kompensationsmodell $n(100-n)$.

[0029] Durch die Angabe des vorstehenden Kompensationsmodellindex zu jedem Kompensationsmodell kann ein Kompensationsmodell automatisch mit einem Pfad und einer Achsennummer verknüpft werden. In dem hier gegebenen Beispiel ist die Anzahl der Achsen „3“. Es kann jedoch eine beliebige Anzahl von Achsen vorbereitet werden. Wenn es einen Pfad mit einer geringen Anzahl von Achsen gibt, kann „0“ in einen Teil des vorhergehenden Indexes gesetzt werden, der einer nicht zu verwendenden Achse entspricht.

[0030] (2) Als nächstes macht die numerische Steuerung einen „Zielachsenindex“ über eine Achsenkombination jedes Pfades. Genauer gesagt, berechnet die numerische Steuerung eine Kombination von Steuerachsennummern für jeden „Pfad“ und gibt den „Zielachsenindex“ aus, der diese Achsenkombination angibt. Dies ist in (2) von **Fig. 1** dargestellt. In (2) von **Fig. 1** berechnet die numerische Steuerung aus einer Kombination von Steuerachsennummern für jeden Pfad einer Werkzeugmaschine einen Zielachsenindex. Die numerische Steuerung enthält Informationen über eine Achsennummer einem im Voraus erfassten Pfad.

[0031] Genauer gesagt, wie in B von **Fig. 1** dargestellt, wird der Zielachsenindex als Vektor ausgedrückt. Ein Index der Zielachse: D wird als $(d1, d2, d3)$ ausgedrückt, wobei Folgendes verwendet wird:

$$d1 = 100 * p + a1;$$

$$d2 = 100 * p + a2; \text{ und}$$

$$d3 = 100 * p + a3.$$

[0032] Die Bedeutungen von $p, a1, a2$ und $a3$ sind die gleichen wie die der entsprechenden Elemente im Kompensationsmodellindex. Auf diese Weise berechnet und gibt die numerische Steuerung einen Zielachsenindex für jeden Pfad, wodurch eine Zielachsenindexdatei 101 um eine Achsenkombination für jeden Pfad erstellt wird. In der Abbildung von **Fig. 1** enthält die Zielachsenindexdatei 101 einen Zielachsenindex $D1 = \{d11, d21, d31\}$ als Pfad 1 (101-1). Weiterhin enthält die Zielachsenindexdatei 101 einen Zielachsen-Index $D2 = \{d12, d22, d32\}$ als Pfad 2 (101-2). Dies gilt auch für einen Pfad m (100-m). Die Angabe des vorgenannten Zielachsenindex zu jedem Pfad ermöglicht den Vergleich mit dem Kompensationsmodellindex und den Vergleich mit einem entsprechenden Kompensationsmodell auf einfache Weise.

[0033] (3) Als nächstes werden der Kompensationsmodellindex und der Zielachsenindex verglichen. Dieser Vergleich kann z.B. von der numerischen Steuerung durchgeführt werden. Die numerische Steuerung vergleicht den Inhalt der Datei 100 über Kompensationsmodell und den Inhalt der Zielachsenindexdatei 101, um für jeden Pfad einen passenden Kompensationsmodellindex zu finden.

[0034] (4) Dann wird ein Kompensationsmodell für jeden Pfad, der einem Kompensationsmodellindex entspricht, der entsprechend einem Zielachsenindex bestimmt wurde, für diesen Pfad festgelegt. Dieser Vorgang kann von der numerischen Steuerung durchgeführt werden. Anschließend steuert die numerische Steuerung die Werkzeugmaschine auf der Grundlage des eingestellten Kompensationsmodells.

[Erste Verkörperung]

[0035] **Fig. 2** ist ein Blockdiagramm einer numerischen Steuerung 200 nach einer ersten Verkörperung der vorliegenden Erfindung. Die **Fig. 3** und **Fig. 4** sind erläuternde Ansichten zur Erläuterung der Vorgehensweise bei der Erstellung eines Zielachsenindex aus einem Parameter, der sich auf eine Steuerachse einer Werkzeugmaschine bezieht. Die **Fig. 5** und **Fig. 6** sind erklärende Ansichten zur Erläuterung der Operation des Vergleichs des Kompensationsmodellindex jedes durch die Lernsoftware eingestellten Kompensationsmodells mit dem Zielachsenindex und der Einstellung eines Kompensationsmodells für jeden Pfad. Die **Fig. 7** ist ein Flussdiagramm, das die Funktionsweise der numerischen Steuerung 200 gemäß der ersten Verkörperung zeigt.

[0036] Die numerische Steuerung 200 nach der ersten Ausführungsform umfasst, wie in **Fig. 2** dargestellt, eine Wärmeverschiebungskompensations-einstelleinheit 210, eine Wärmeverschiebungs-

Kompensations-Einheit 220, einen Betriebszustandsdaten-Speicher 230, eine Achsensteuerungsinformationserzeugungseinheit 240 und eine Achsensteuerungseinheit 250. Die Wärmeverschiebungskompensations-Einstelleinheit 210 vergleicht einen Zielachsenindex und einen Kompensationsmodellindex und stellt ein dem verglichenen Zielachsenindex entsprechendes Kompensationsmodell ein. Als Ergebnis der Implementierung eines solchen Vorgangs wählt die Einstelleinheit für die Wärmeverschiebungskompensation 210 aus den Steuerachsinfosdaten ein Kompensationsmodell aus, das einer für die Wärmeverschiebungskompensation vorgesehenen Achsenkombination entspricht, in der eine Steuerachse erkennbar ist. Die Einstelleinheit 210 für die Wärmeverschiebungskompensation umfasst eine Zielachsenindex-Erzeugungseinheit 210-1, eine Kompensationsmodellsatz-Speichereinheit 210-2, eine Indexvergleichseinheit 210-3, eine Kompensationsmodell-Einstelleinheit 210-4 und eine Achsenumschaltungs-Bestimmungseinheit 210-5. Ein Zielachsenindex kann einfach als Index bezeichnet werden.

[0037] Die Zielachsenindex-Erzeugungseinheit 210-1 erzeugt den oben beschriebenen Zielachsenindex. Die Zielachsenindex-Erzeugungseinheit 210-1 ermittelt aus den Steuerachs-Infosdaten einen Pfadnummer und eine Achsennummer, die für die Erzeugung des Zielachsenindex notwendig sind. Bei den Steuerachs-Infosdaten handelt es sich um Daten, die von der später beschriebenen Achs-Steuerinformationserzeugungseinheit 240 erzeugt werden und in denen eine Steuerachse erkennbar ist. Die Indexvergleichseinheit 210-3 vergleicht den erzeugten Zielachsenindex und einen Satz von Kompensationsmodellen und wählt ein passendes Kompensationsmodell aus. Der Satz der Kompensationsmodelle wird in der Kompensationsmodellsatz-Speichereinheit 210-2 gespeichert und der Indexvergleichseinheit 210-3 zugeführt.

[0038] Die Indexvergleichseinheit 210-3 führt das passende Kompensationsmodell der Kompensationsmodell-Einstelleinheit 210-4 zu. Die Kompensationsmodell-Einstelleinheit 210-4 empfängt das eingespeiste Kompensationsmodell und stellt das empfangene Kompensationsmodell als ein Kompensationsmodell ein, das von der numerischen Steuerung 200 für einen entsprechenden Pfad verwendet wird. Diese Einstellung kann durch einen Prozess erfolgen, wie z.B. das Schreiben des Inhalts des Kompensationsmodells in den internen Speicher und das Bereitstellen des Inhalts an die Kompensations-Einstelleinheit 220, z.B. für die Wärmeverschiebung. Dieser Vorgang wird von der Kompensationsmodell-Einstelleinheit 210-4 durchgeführt. Die Kompensationsmodellsatz-Speichereinheit 210-2 speichert den Kompensationsmodellsatz und liefert den Kompensationsmodellsatz an die Indexvergleichseinheit

210-3. Die Achsumschaltungs-Ermittlungseinheit 210-5 stellt fest, ob eine Achse während der Bearbeitung gewechselt wurde. Details zu diesem Vorgang werden in einer zweiten Ausführungsform beschrieben.

[0039] Die Wärmeverschiebungs-Kompensations-Einheit 220 führt auf einen der Werkzeugmaschine zuzuführenden Befehl hin eine vorgegebene Kompensation auf der Basis des eingestellten Kompensationsmodells durch. Genauer gesagt, die Wärmeverschiebungs-Kompensations-Einheit 220 berechnet einen Kompensationswert aus Betriebszustandsdaten mit Korrelation zur Wärmeverschiebung und aus dem Kompensationsmodell und liefert den berechneten Kompensationswert an die Achsensteuerung 250. Dadurch können wärmebedingte Verschiebungen kompensiert werden. Die hier genannten Betriebszustandsdaten sind Daten, die aus dem Betriebszustandsdaten-Speicher 230 geliefert werden. Das hier verwendete Kompensationsmodell ist das vorgenannte Kompensationsmodell, das von der Kompensationsmodell-Einstelleinheit 210-4 eingestellt wird. Die Kompensationseinheit 220 enthält eine Kompensationswertberechnungseinheit 220-1 und eine Kompensationsausführungseinheit 220-2. Die Kompensationswertberechnungseinheit 220-1 berechnet einen Kompensationswert aus den Betriebszustandsdaten und dem Kompensationsmodell und liefert den berechneten Kompensationswert an die Kompensationsimplementierungseinheit 220-2.

[0040] Der Betriebszustandsdaten-Speicher 230 ist ein Datenspeicher, der einen Betriebszustand (einschließlich einer Temperatur) speichert, in dem sich ein Pfad (Werkzeugmaschine) befindet. Der Betriebszustandsdaten-Speicher 230 versorgt die Kompensationswertberechnungseinheit 220-1 mit Betriebszustandsdaten. Diese Betriebszustandsdaten sind Daten, die den Betriebszustand der Werkzeugmaschine anzeigen, insbesondere Daten, die ferner eine Temperatur und Daten mit Korrelation zur Wärmeverschiebung enthalten. Diese Temperatur kann als Grundlage für die Kompensation der Wärmeverschiebung verwendet werden. Die Betriebszustandsdaten können neben der Temperatur beliebige andere Daten enthalten, wie z.B. ein Achsendrehmoment, eine Achsendrehzahl und andere Daten, die einen Betriebszustand anzeigen. Die Achsensteuerungs-Informationserzeugungseinheit 240 erzeugt die Steuerachsinfosdaten, die eine zu einem entsprechenden Pfad gehörende Achse anzeigen. Die Steuerachsinfosdaten werden an die Zielachsen-Indexerzeugungseinheit 210-1 geliefert, um für die Erzeugung eines Zielachsen-Indexes verwendet zu werden. Die Steuerachsinfosdaten werden ferner der Achsensteuerungseinheit 250 zur Verfügung

gestellt, damit diese einen Befehl an eine Achse liefern kann.

[0041] Die Achsensteuerung 250 ist ein Mittel zur Ausgabe eines Befehls an die Werkzeugmaschine. Grundsätzlich gibt die Achssteuerung 250 einen Befehl auf Basis eines Bearbeitungsprogramms an eine Werkzeugmaschine eines entsprechenden Pfads aus. Dieser Befehl wird durch die Verwendung von Achsensteuerungsinformationen über diesen Pfad geliefert. Weiterhin erhält die Achsensteuerung 250 von der Kompensationsimplementierungseinheit 220-2 einen temperaturabhängigen Kompensationswert, addiert den empfangenen Kompensationswert zu dem Befehl und gibt den daraus resultierenden Befehl an die Werkzeugmaschine. [0038]

<Wärmeverschiebungskompensationsvorrichtung und numerische Steuerung>

[0042] In dieser Ausführung wird eine Konfiguration, die mindestens die Wärmeverschiebungs-Kompensations-Einstelleinheit 210 und die Wärmeverschiebungs-Kompensationseinheit 220 enthält und für die Berechnung eines Kompensationswertes verantwortlich ist, als Wärmeverschiebungs-Kompensations-Vorrichtung bezeichnet. Die Wärmeverschiebungs-Kompensations-Vorrichtung steht für verschiedene Zwecke zur Verfügung. Die Wärmeverschiebungs-Kompensations-Vorrichtung kann in einer Werkzeugmaschine vorgesehen oder an einem Roboter installiert sein. Eine Vorrichtung, die die Wärmeverschiebungs-Kompensations-Vorrichtung enthält und für die Ausgabe eines Befehls an eine Werkzeugmaschine verantwortlich ist, kann als numerische Steuerung konfiguriert werden. Die numerische Steuerung 200 einer solchen Konfiguration ist im Blockdiagramm von **Fig. 2** dargestellt. Im Blockdiagramm von **Fig. 2** kann die Achsensteuerung 250, die einen von der Wärmeverschiebungskompensationsvorrichtung berechneten Kompensationswert zu einem Befehl addiert, den kompensierten Befehl an eine Werkzeugmaschine ausgeben und wird als numerischer Regler funktionsfähig. Im Blockdiagramm von **Fig. 2** speichert der Betriebszustandsdaten-Speicher 230 den Betriebszustand der Werkzeugmaschine als Betriebszustandsdaten und liefert die Betriebszustandsdaten an die Wärmeverschiebungskompensations-Einheit 220 (deren Kompensationswertberechnungseinheit). Dadurch kann ein Kompensationswert genauer berechnet werden, so dass der numerische Regler 200 mit verbesserter Leistung bei der Handhabung von Wärme versorgt werden kann.

<Erstellung des Zielachsenindexes>

[0043] Die **Fig. 3** und **Fig. 4** sind erklärende Ansichten zur Erklärung der Erstellung eines Zielachsenin-

dexes. In der Abbildung von **Fig. 3** sind zwei Pfade dargestellt, darunter ein Pfad 1 (300) und ein Pfad 2 (301). Der Pfad 1 (300) enthält eine X1-Achse 302 zum Bewegen eines Drehkopfes 1 und eine Z1-Achse 303 zum Bewegen eines Werkstücks 1. Der Pfad 2 (301) enthält eine X2-Achse 304 zum Bewegen eines Drehkopfes 2 und eine Z2-Achse 305 zum Bewegen eines Werkstücks 2.

[0044] In diesem Zustand wird jeder Achse eine absolute Pfadnummer und eine relative Achsennummer gegeben, wie in **Fig. 4** dargestellt. In **Fig. 4** ist zu sehen, dass die Achse X1 z.B. eine absolute Pfadnummer von 1 und eine relative Achsennummer von 1 erhält. Die anderen Achsen erhalten entsprechende Nummern, die in den **Abb. 3** und **Abb. 4** dargestellt sind. Jeder Zahlenwert d in einem Zielachsenindex wird als Zielachsennummer bezeichnet. Der Zielachsenindex wird dann als [erste Zielachsennummer, zweite Zielachsennummer, dritte Zielachsennummer] ausgedrückt.

[0045] Wie in **Fig. 1** dargestellt, erhält man die Zielachsennummer (d) durch Multiplikation einer absoluten Pfadnummer mit 100 und anschließender Addition einer relativen Achsennummer. Dann erhält man, gemäß der Darstellung in **Fig. 4**, die Zielachsenindizes wie folgt:

Zielachsenindex des Pfads 1 = [101, 102, 0].

Zielachsenindex des Pfads 2 = [201, 202, 0].

Eine dritte Zielachsennummer wird z.B. im Hinblick auf den Einsatz eines Bearbeitungszentrums vorbereitet. Wenn die Anzahl der Achsen kleiner als drei ist, kann ein entsprechendes Teil z.B. wie oben erklärt mit 0 gefüllt werden. Wie oben beschrieben, ist eine Zielachsennummer eine Zahl, die sich aus einer Pfadnummer (absolute Pfadnummer) und einer Achsennummer (relative Achsennummer) errechnet und zum Erkennen einer entsprechenden Achse verwendbar ist. Wie oben beschrieben, werden in der ersten Ausführungsform eine absolute Pfadnummer und eine relative Achsennummer im Voraus bestimmt und für jede Achse angegeben. Die hier erwähnte relative Achsennummer ist eine relative Ordnungszahl für eine Achse, die die Reihenfolge dieser Achse in einem entsprechenden Pfad anzeigt. Im Gegensatz dazu zeigt einen Pfadnummer eine absolute Ordnung an.

<Einstellung des Kompensationsmodells>

[0046] Die **Fig. 5** und **Fig. 6** sind erklärende Ansichten zur Erläuterung der Einstellung eines Kompensationsmodells. Wie oben beschrieben, wird ein Kompensationsmodellindex jedes von der Lernsoftware eingestellten Kompensationsmodells mit dem vorhergehenden Zielachsenindex verglichen, um ein Kompensationsmodell für jeden Pfad einzustellen.

Wie in **Fig. 5** dargestellt, wird ein Kompensationsmodell aus einer absoluten Pfadnummer und einer relativen Achsennummer berechnet. In der Abbildung von **Fig. 5** sind ein Kompensationsmodell 1 (310-1), ein Kompensationsmodell 2 (310-2), ein Kompensationsmodell 3 (310-3) und ein Kompensationsmodell 4 (310-4) dargestellt, und diese Modelle werden zusammen als Kompensationsmodellsatz 310 bezeichnet.

[0047] Ein Kompensationsmodellindex enthält ein Element b (siehe **Fig. 1**), das als Kompensationsachsennummer bezeichnet wird, und der Kompensationsmodellindex ist definiert als [erste Kompensationsachsennummer, zweite Kompensationsachsennummer, dritte Kompensationsachsennummer]. Die Kompensationsachsennummer erhält man durch Multiplikation einer absoluten Pfadnummer mit 100 und anschließender Addition einer relativen Achsennummer (siehe **Fig. 1**). So wird ein Kompensationsmodellindex des Kompensationsmodells 1 z.B. als [101, 102, 0] ausgedrückt. Das Kompensationsmodell 2, das Kompensationsmodell 3 und das Kompensationsmodell 4 werden auf die gleiche Weise berechnet. Siehe **Fig. 5** für bestimmte numerische Werte.

[0048] Nicht immer muss für jede Kombination ein Kompensationsmodell und ein Kompensationsmodellindex erstellt werden. In der Tat können in einigen Fällen nur mehrere Arten von Mustern tatsächlich eingesetzt werden. In solchen Fällen können ein Kompensationsmodell und ein Kompensationsmodellindex nur für eine Kombination berechnet werden, die wahrscheinlich auch tatsächlich eingesetzt wird. Ein solches Kompensationsmodell und ein solcher Kompensationsmodellindex können in der Kompensationsmodellsatz-Speichereinheit 210-2 gespeichert werden. Dann wird der Kompensationsmodellindex mit einem Zielachsenindex durch die Indexvergleichseinheit 210-3 verglichen.

[0049] In der Abbildung von **Fig. 6** gibt es zwei Pfade, einen Pfad 1 (320) und einen Pfad 2 (321). Der Pfad 1 (320) enthält eine $X1 + C11$ -Achse 322 zum Bewegen eines Drehkopfes 1 und eine $Z1 + C21$ -Achse 323 zum Bewegen eines Werkstücks 1. Der Pfad 2 (321) enthält eine Achse $X2 + C12$ 324 zum Bewegen eines Drehkopfes 2 und eine Achse $Z2 + C22$ 325 zum Bewegen eines Werkstücks 2.

[0050] Dabei bedeuten $C11$, $C21$, $C12$ und $C22$ Kompensationswerte, die von der Kompensationswertberechnungseinheit 220-1 ausgegeben und während dem „Befehl“ der Kompensationsumsetzungseinheit 220-2 zu addieren sind. In diesem Zustand ist ein Zielachsenindex des Pfads 1 (320) {101 102 0}. Ferner ist ein Zielachsenindex des Pfads 2 (321) {201 202 0}. Wie aus dem Vergleich

zwischen diesen Indizes mit den Indizes des Kompensationsmodells ersichtlich, entspricht ein Kompensationsmodellindex {101 102 0} des Kompensationsmodells 1 (siehe **Fig. 5**) des Pfads 1 (320) und ein Kompensationsmodellindex {201 202 0} des Kompensationsmodells 2 des Pfads 2 (321). Diese Vergleiche werden von der Indexvergleichseinheit 210-3 durchgeführt.

[0051] Als Ergebnis wird das Kompensationsmodell 1 (100-1), (310-1) für den Pfad 1 (320) und das Kompensationsmodell 2 (100-2), (310-2) für den Pfad 2 (321) eingestellt. Diese Einstellungen werden von der Kompensationsmodell-Einstelleinheit 210-4 vorgenommen.

<Bedienung der numerischen Steuerung>

[0052] **Fig. 7** ist ein Flussdiagramm, das ein Beispiel für die Funktionsweise der numerischen Steuerung zeigt. Zunächst wird im Schritt S1 die Einstellung der Wärmeverschiebungskompensation gestartet. Das bedeutet, dass die Einstellung eines Kompensationsmodells, das für einen Pfad verwendet werden soll, gestartet wird. Im Schritt S2 wird ein Anfangswert eingestellt. Ein Zeichen i , das einen Pfadnummer angibt, wird auf 1 gesetzt und ein Zeichen j , das ein Kompensationsmodell angibt, wird ebenfalls auf 1 gesetzt. Diese sind zur Erzeugung eines Zielachsenindex anzuwenden und werden von der Zielachsenindex-Erzeugungseinheit 210-1 entsprechend eingestellt.

[0053] Im Schritt S3 erzeugt (macht) die Zielachsen-Indexerzeugungseinheit 210-1 einen Zielachsen-Index der Pfadnummer i und liefert den Zielachsen-Index an die Indexvergleichseinheit 210-3. Im Schritt S4 ruft die Indexvergleichseinheit 210-3 einen Kompensationsmodellindex des Kompensationsmodells j aus dem Kompensationsmodellsatzspeicher 210-2 auf.

[0054] Im Schritt S5 vergleicht die Indexvergleichseinheit 210-3 den gelieferten Zielachsenindex und den aufgerufenen Kompensationsmodellindex, um festzustellen, ob diese Indizes zueinander passen. Wenn diese Indizes als Ergebnis des Vergleichs als übereinstimmend festgestellt werden, geht der Ablauf zu Schritt S6 über. Wird festgestellt, dass diese Indizes nicht übereinstimmen, geht der Ablauf zu Schritt S11 über. In Schritt S6 liefert die Indexvergleichseinheit 210-3 aufgrund der Übereinstimmung das Kompensationsmodell j des übereinstimmenden Kompensationsmodellindex an die Kompensationsmodell-Einstelleinheit 210-4. Die Kompensationsmodell-Einstelleinheit 210-4 stellt das gelieferte Kompensationsmodell für den entsprechenden Pfad i ein.

[0055] Im Schritt S7 wird ermittelt, ob i die maximale Anzahl der Pfade ist. Wenn JA, geht der Ablauf zum

Schritt S8. Wenn NEIN, geht der Ablauf zu Schritt S9, um den Prozess erneut zu wiederholen. Im Schritt S8 wird, da die Einstellungen der Kompensationsmodelle für alle Pfade abgeschlossen sind, die Wärmerverschiebungskompensation beendet.

[0056] Im Schritt S9 wird i um 1 inkrementiert und j auf 1 zurückgesetzt. Diese Variablen sollen zur Erzeugung eines Zielachsenindex verwendet werden, so dass diese Inkrementierung und Rücksetzung durch die Zielachsenindex-Erzeugungseinheit 210-1 erfolgt. Danach geht der Ablauf zum Schritt S3, um wieder einen Zielachsenindex zu erzeugen (machen). Im Schritt S11 bestimmt die Indexvergleichseinheit 210-3, ob j die maximale Anzahl von Kompensationsmodellen ist. Wenn j als die maximale Anzahl von Modellen bestimmt wird, geht der Ablauf zu Schritt S12. Wenn j nicht als die maximale Anzahl von Modellen bestimmt wird, geht der Ablauf zu Schritt S10 über.

[0057] In Schritt S12 wird ein Kompensationsmodell für den entsprechenden Pfad i gelöst. Nämlich setzt die Kompensationsmodell-Einstelleinheit 210-4 kein Kompensationsmodell für den entsprechenden Pfad i . Der Grund dafür ist, dass kein passendes Kompensationsmodell gefunden werden konnte. Dieser Schritt kann durch einfaches Weglassen des Einstellens eines Kompensationsmodells erfüllt werden. Alternativ kann eine Benachrichtigungseinheit (nicht abgebildet) vorgesehen werden, um einen Benutzer etc. über das Nicht-Finden eines entsprechenden Kompensationsmodells zu informieren. Durch das Vorhandensein dieser Benachrichtigungseinheit kann der Benutzer erkennen, dass Kompensationsmodelle nicht ausreichend sind, so dass der Benutzer zur Erstellung von Kompensationsmodellen motiviert wird. Die Kompensationsmodell-Einstelleinheit 210-4 kann weiterhin als Benachrichtigungseinheit fungieren. Dann geht der Ablauf zu Schritt S7, um mit der Bearbeitung auf einem nächsten Pfad fortzufahren (falls vorhanden).

[0058] Im Schritt S10 wird j um 1 inkrementiert. Diese Variable soll zur Erzeugung eines Zielachsenindex verwendet werden, so dass diese Inkrementierung von der Zielachsenindex-Erzeugungseinheit 210-1 vorgenommen wird. Danach geht der Ablauf zum Schritt S4, um ein anderes Kompensationsmodell aufzurufen.

[0059] Als Ergebnis des vorgenannten Prozesses kann ein zu jedem Pfad passendes Kompensationsmodell festgelegt werden.

[Zweite Verkörperung]

[0060] Fig. 8 ist eine erklärende Ansicht zur Erläuterung der Funktionsweise einer numerischen Steuerung 200 nach einer zweiten Verkörperung, die

beim Auftreten von Achsschaltungen während der Bearbeitung durchgeführt wird. Die Fig. 9 ist auch eine erklärende Ansicht zur Erläuterung der Situation der Bedienung, die beim Auftreten der Achsumschaltung während der Bearbeitung durchgeführt wird. Die Fig. 10 und Fig. 11 sind Flussdiagramme, die die Arbeitsweise der numerischen Steuerung 200 gemäß der zweiten Verkörperung zeigen.

[0061] Fig. 8 erläutert einen Fall, bei dem die Achsen während der Bearbeitung umgeschaltet werden. Wie in Fig. 8 dargestellt, gibt es in diesem Fall zwei Pfade, darunter einen Pfad 1 (340) und einen Pfad 2 (341). Zum Zeitpunkt des Starts der Bearbeitung umfasst den Pfad 1 (340) eine X1-Achse 342 und eine Z1-Achse 343. Außerdem umfasst den Pfad 2 (341) eine X2-Achse 344 und eine Z2-Achse 345. Ein Zielachsenindex des Pfads 1 in diesem Zustand wird als [101 102 0] und ein Zielachsenindex des Pfads 2 in diesem Zustand wird als [201 202 0] ausgedrückt.

[0062] Nachfolgend wird ein Beispiel beschrieben, bei dem die Achsen zur Vereinfachung der Bearbeitung geschaltet werden. In Fig. 8 sind als Ergebnis der Umschaltung zwischen den X-Achsen in der vorstehenden Achskonfiguration die X2-Achse 344 und die Z1-Achse 343 in des Pfads 1 (340) vorhanden. Außerdem sind die Achse X1 342 und die Achse Z2 345 in des Pfads 2 (341) vorhanden. Ein Zielachsenindex des Pfads 1 in diesem Zustand wird als [201 102 0] ausgedrückt, und ein Zielachsenindex des Pfads 2 in diesem Zustand wird als [101 202 0] ausgedrückt. Nämlich, die X1-Achse und die X2-Achse werden umgeschaltet. Entsprechende Zielachsennummern werden ebenfalls umgeschaltet und Zielachsenindizes werden neu erstellt. Das eingestellte Kompensationsmodell wird nicht geändert. Es werden auch Kompensationsmodelle wie die in der Abb. 5 dargestellten Kompensationsmodelle verwendet. Das Auftreten einer solchen Umschaltung kann durch erneutes Anlegen neuer Zielachsenindizes und erneutem Vergleich mit Kompensationsmodellindizes behandelt werden. Als Ergebnis werden die Kompensationsmodelle neu eingestellt, wie in Fig. 9 dargestellt.

<Einstellung des Kompensationsmodells>

[0063] Einen Pfad 1 (360) in Fig. 9 umfasst eine X2 + C12-Achse 362 und eine Z1 + C21-Achse 363. Ein Index der Zielachse wird also als {201 102 0} ausgedrückt. Einen Pfad 2 (361) in Fig. 9 umfasst eine X1 + C11 Achse 364 und eine Z2 + C22 Achse 365. Der Zielachsenindex wird also als {101 202 0} ausgedrückt. In diesem Zustand wird erneut nach passenden Kompensationsmodellindizes gesucht, um das Kompensationsmodell 3 (100-3), (310-3) für den Pfad 1 (360) und das Kompensationsmodell 4 (100-4), (310-4) für den Pfad 2 (361) einzustellen.

Auf diese Weise kann gemäß der zweiten Ausführungsform auch bei Auftreten einer Achsumschaltung auf dem Weg ein neues passendes Kompensationsmodell durch erneute Berechnung eines Zielachsenindex gesucht werden. Dadurch kann auch bei Auftreten einer Änderung der Achskonfiguration während der Bearbeitung eine Wärmeverschiebungskompensation durchgeführt werden.

<Prozess als Reaktion auf Änderung der Achskonfiguration>

[0064] Fig. 10 ist ein Flussdiagramm, das zeigt, wie die numerische Steuerung arbeitet, um einen Prozess durchzuführen, der auf das Auftreten einer Änderung in einer Achskonfiguration reagiert. Zunächst wird im Schritt S13 ein Werkstück bearbeitet. Die Bearbeitung wird durch Einlesen eines Bearbeitungsprogramms und Ausgabe eines entsprechenden Befehls an den Servomotor einer Werkzeugmaschine durch die numerische Steuerung 200 gestartet.

[0065] Im Schritt S14 wird festgestellt, ob eine Achskonfiguration geändert wurde. Diese Feststellung erfolgt durch die Achsumschaltungs-Ermittlungseinheit 210-5 in Fig. 2. Das Achsumschalt-Ermittlungsgerät 210-5 überwacht die von der Achsregel- und Informationserzeugungseinheit 240 erzeugten Achsregel- und Steuerinformationen, um festzustellen, ob eine Achsumschaltung vorgenommen wurde. Wurde eine Achsumschaltung erkannt, geht der Ablauf zu Schritt S15, um die anderen Einheiten der Wärmeverschiebungskompensation-Einstelleinheit 210 zum Zurücksetzen eines Kompensationsmodells zu drängen. Genauer gesagt, wird jede Einheit angewiesen (benachrichtigt), den Vorgang der Einstellung eines Kompensationsmodells erneut durchzuführen. In der Zwischenzeit geht der Durchfluss bei fehlender Achsumschaltung zum Schritt S16.

[0066] Im Schritt S15 nimmt die numerische Steuerung 200 aufgrund der Änderung einer Achskonfiguration wieder eine neue Einstellung vor. Die Details dieser Einstellung werden anhand des Flussdiagramms in Fig. 11 beschrieben. Im Schritt S16 wird festgelegt, ob die Bearbeitung beendet werden soll. Wenn die Bearbeitung beendet werden soll, ist die Bearbeitung beendet. Wenn die Bearbeitung nicht beendet werden soll, geht der Ablauf zu Schritt S13, um die Bearbeitung fortzusetzen.

<Details der Zurücksetzung des Kompensationsmodells (Schritt S15)>

[0067] Fig. 11 ist ein Flussdiagramm, das den detaillierten Ablauf der Zurücksetzung eines Kompensationsmodells (Schritt S15) in Fig. 10 zeigt. Zunächst wird im Schritt S17 das Zurücksetzen eines Kompensationsmodells gestartet. Dies ist ein Prozess zum

Zurücksetzen eines Kompensationsmodells für einen Pfad, bei dem das Auftreten einer Änderung in einer Achskonfiguration von der Achsumschaltbestimmungseinheit 210-5 erkannt wurde. In diesem Fall gibt es nur einen Pfad. Anders als im Fall von Fig. 7 wird also die Variable i nicht nur von j verwendet, was bedeutet, dass ein Kompensationsmodell als Variable verwendet wird. Im Schritt S18 wird die Variable j auf einen Anfangswert von 1 gesetzt. Diese Einstellung wird von der Zielachsen-Indexerzeugungseinheit 210-1 vorgenommen.

[0068] Im Schritt S19 erstellt die Zielachsenindex-Erzeugungseinheit 210-1 wieder einen Zielachsenindex für einen Zielpfad. Genauer gesagt, als Reaktion auf das Erkennen des Pfads, in der eine Achskonfiguration durch die Achsschaltermittlung 210-5 als Trigger geändert wurde, erstellt die Zielachsenindex-Erzeugungseinheit 210-1 wieder einen Zielachsenindex für die Zielbewegung. Im Schritt S20 ruft die Indexvergleichseinheit 210-3 das Kompensationsmodell j aus dem Kompensationsmodellspeicher 210-2 auf.

[0069] Im Schritt S21 vergleicht die Indexvergleichseinheit 210-3 das gelesene Kompensationsmodell j und den erneut erstellten Zielachsenindex, um festzustellen, ob eine Übereinstimmung zwischen beiden besteht. Wenn die Übereinstimmung festgestellt wird, geht der Ablauf zu Schritt S22 über. Wird festgestellt, dass keine Übereinstimmung vorliegt, geht der Ablauf zu Schritt S25 über. In Schritt S22 wird dieses Kompensationsmodell j aufgrund der Übereinstimmung auf einen entsprechenden Pfad gesetzt.

[0070] Im Schritt S23 wird das Zurücksetzen des Kompensationsmodells abgeschlossen. In Schritt S25 wird ermittelt, ob j die maximale Anzahl von Kompensationsmodellen ist. Wird j als die maximale Anzahl ermittelt, geht der Durchlauf zu Schritt S26. Wird j nicht als maximale Anzahl bestimmt, geht der Ablauf zu Schritt S24. Im Schritt S26 wird festgestellt, dass der aktuell fokussierte Pfad nicht für die Einstellung eines Kompensationsmodells zur Verfügung steht. Dann geht der Fluss zu Schritt S23 und der Prozess ist beendet. In diesem Schritt kann, wie in Schritt S12, eine Benachrichtigungseinheit vorgesehen werden, um einen Benutzer etc. über das Nicht-Finden eines Kompensationsmodells zu informieren. Eine solche Benachrichtigung motiviert den Benutzer zur Erstellung von Kompensationsmodellen.

[0071] Die Meldung kann auf verschiedene Weise erfolgen. Die Meldung kann auf einer Anzeige dargestellt werden. Die Benachrichtigung kann per Sprache erfolgen. Die Benachrichtigung kann in Form eines Summers oder eines Alarms erfolgen. Diese werden auch bei Schritt S12 angewendet. Im Schritt S24 wird zum Vergleich mit einem anderen Kompen-

sationsmodell j um 1 erhöht. Danach geht der Ablauf zum Schritt S20, um weiterhin ein Kompensationsmodell als neues Vergleichsziel aufzurufen. Als Ergebnis des vorgenannten Prozesses kann das Kompensationsmodell zurückgesetzt werden.

<Effekt der Verkörperungen>

[0072] Wie oben beschrieben, werden nach der ersten und der zweiten Ausführungsform ein Index eines Kompensationsmodells und ein Zielachsenindex verglichen. Wenn diese Indizes als übereinstimmend ermittelt werden, wird dieses Kompensationsmodell auf einen entsprechenden Pfad gesetzt. So kann auch bei einer großen Anzahl von Pfaden zeitnah ein entsprechendes Kompensationsmodell eingestellt werden. Wie in der zweiten Ausführungsform beschrieben, kann weiterhin auch bei Änderung einer Achsenkonfiguration in einem Pfad ein passendes Kompensationsmodell gesucht und als Reaktion auf die Achsenumschaltung neu gesetzt werden.

<Andere Ausführungsformen>

[0073] Während die Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung oben beschrieben wurden, sollte die vorliegende Erfindung nicht auf die vorgenannten Ausführungsformen beschränkt werden. Die in den Ausführungsformen beschriebenen Wirkungen sind lediglich eine Liste der bevorzugten Wirkungen, die sich aus der vorliegenden Erfindung ergeben. Die durch die vorliegende Erfindung erzielten Wirkungen sollten nicht auf die in den Ausführungsformen beschriebenen Wirkungen beschränkt werden.

[Erste Änderung]

[0074] Bei den in der ersten und zweiten Ausführung beschriebenen Beispielen ist die Wärmeverschiebungskompensations-Einstelleinheit 210 in der numerischen Steuerung 200 gespeichert. Alternativ kann sich die Wärmeverschiebungskompensations-Einstelleinheit 210 außerhalb eines Gehäuses der numerischen Steuerung 200 befinden. Alternativ kann die Wärmeverschiebungskompensations-Einstelleinheit 210 auch als externes Anbaugerät konfiguriert oder an einem entfernten Ort über eine Kommunikationsleitung zur Verfügung gestellt werden. Alternativ kann die Wärmeverschiebungskompensations-Einstelleinheit 210 auch in einem Netzwerk oder über eine Cloud konfiguriert werden. Ein Beispiel für ein verfügbares System ist ein System namens Fog Computing (eingetragenes Warenzeichen von Cisco Systems, Inc.) zur gemeinsamen Nutzung einer Funktion zur Steuerung einer Werkzeugmaschine in einer Cloud. Es gibt auch ein bekanntes System namens FIELD system (FIELD ist ein eingetragenes Warenzeichen der FANUC CORPORATION) zur Vernetzung einer Werkzeugmaschine oder eines Roboters mittels Fog compu-

ting. Die Umsetzung der vorliegenden Erfindung auf einem solchen System wird ebenfalls bevorzugt.

[Zweite Modifikation]

[0075] Die numerische Steuerung 200 in der ersten Verkörperung und der zweiten Verkörperung kann ein Computersystem mit einer CPU sein. In diesem Fall liest die CPU ein Programm, das in einer Speichereinheit wie z.B. einem ROM gespeichert ist, wodurch ein Computer als Wärmeverschiebungskompensations-Einstelleinheit 210, die Wärmeverschiebungskompensations-Einheit 220, die Betriebszustands-Datenspeichereinheit 230, die Achsensteuerungs-Informationserzeugungseinheit 240 und die Achsensteuerungseinheit 250 funktionieren kann, indem er dem gelesenen Programm folgt.

[Dritte Änderung]

[0076] In den Beispielen der ersten und der zweiten Ausführungsform ist die numerische Steuerung 200 für die numerische Steuerung einer Werkzeugmaschine vorgesehen. Solange die Werkzeugmaschine die Funktion hat, die gleiche Operation durchzuführen, kann die Werkzeugmaschine selbst für die Implementierung dieser Operation verantwortlich sein. Außerdem kann ein Verwaltungsrechner für die Verwaltung einer Fabrik vollständig für die Implementierung dieser Operation in zentralisierter Form verantwortlich sein.

ERLÄUTERUNG DER REFERENZZEICHEN

| | |
|-----|---|
| 1 | Werkzeugmaschine |
| 2 | Temperatursensor |
| 3 | Verschiebungssensor |
| 4 | Lerndaten |
| 5 | Kompensationsmodellberechnung |
| 5-1 | Lernsoftware |
| 5-2 | Maschinelles Lernen |
| 5-3 | Wärmeverschiebungskompensationsmodell |
| 6 | Kompensationswertberechnung und Ausgabe |
| 6-1 | Temperatursammeleinheit |
| 6-2 | CNC-Vorrichtung |
| 6-3 | Kompensation |
| 7-1 | Kompensationsmodell 1 |
| 7-2 | Kompensationsmodell 2 |
| 7-3 | Kompensationsmodell 3 |
| 7-4 | Kompensationsmodell 4 |

| | | | |
|-------|--|-------|-----------------------|
| 8 | Pfad 1 | 310-2 | Kompensationsmodell 2 |
| 9 | Pfad 2 | 310-3 | Kompensationsmodell 3 |
| 10 | X1-Achse | 310-4 | Kompensationsmodell 4 |
| 11 | Z1-Achse | 320 | Pfad 1 |
| 12 | X2-Achse | 321 | Pfad 2 |
| 13 | Z2-Achse | 322 | X1 + C11-Achse |
| 100 | Datei zum Kompensationsmodell | 323 | Z1 + C21-Achse |
| 100-1 | Kompensationsmodell 1 | 324 | X2 + C12-Achse |
| 100-2 | Kompensationsmodell 2 | 325 | Z2 + C22-Achse |
| 100-n | Kompensationsmodell n | 340 | Pfad 1 |
| 102 | Werkzeugmaschine | 341 | Pfad 2 |
| 101 | Zielachsenindexdatei | 342 | X1-Achse |
| 101-1 | Zielachsenindex 1 | 343 | Z1-Achse |
| 101-2 | Zielachsenindex 2 | 344 | X2-Achse |
| 101-m | Zielachsenindex m | 345 | Z2-Achse |
| 200 | Numerische Steuerung | 360 | Pfad 1 |
| 210 | Wärmeverschiebungskompensationseinstelleinheit | 361 | Pfad 2 |
| 210-1 | Zielachsenindexerzeugungseinheit | 362 | X2 + C12-Achse |
| 210-2 | Kompensationsmodellsatzspeicher | 363 | Z1 + C21-Achse |
| 210-3 | Indexvergleichseinheit | 364 | X1 + C11 Achse |
| 210-4 | Kompensationsmodelleinstelleinheit | 365 | Z2 + C22-Achse |
| 210-5 | Achsenschalterbestimmungseinheit | | |
| 220 | Wärmeverschiebungs-Kompensations-Einheit | | |
| 220-1 | Kompensationswertberechnungseinheit | | |
| 220-2 | Kompensationsimplementierungseinheit | | |
| 230 | Betriebszustandsdatenspeichereinheit | | |
| 240 | Achsensteuerungsinformationserzeugungseinheit | | |
| 250 | Achsensteuerungseinheit | | |
| 300 | Pfad 1 | | |
| 301 | Pfad 2 | | |
| 302 | X1-Achse | | |
| 303 | Z1-Achse | | |
| 304 | X2-Achse | | |
| 305 | Z2-Achse | | |
| 310 | Kompensationsmodellsatz | | |
| 310-1 | Kompensationsmodell 1 | | |

Patentansprüche

1. Eine Wärmeverschiebungs-Kompensations-Vorrichtung (200), umfassend:
eine Wärmeverschiebungs-Kompensations-Einstelleinheit (210), die einen Index einer Achsenkombination als ein Ziel der Implementierung der Wärmeverschiebungs-Kompensation aus Steuerachsen-Informationsdaten, in denen eine Steuerachse erkennbar ist, einstellt und einen Index eines Kompensationsmodells findet, das mit dem Index übereinstimmt, wodurch ein entsprechendes Kompensationsmodell ausgewählt wird; und
eine Wärmeverschiebungs-Kompensations-Einheit (220), die einen Kompensationswert aus Betriebszustandsdaten mit Korrelation zur Wärmeverschiebung und aus dem gewählten Kompensationsmodell berechnet.

2. Die Wärmeverschiebungs-Kompensations-Vorrichtung (200) nach Anspruch 1, wobei die Wärmeverschiebungs-Kompensations-Einstelleinheit (210) umfasst:
eine Zielachsenindex-Erzeugungseinheit (210-1), die einen Zielachsenindex, der eine Achsenkombination für jeden Pfad angibt, auf der Grundlage der Steuerachsen-Informationsdaten erzeugt;
eine Kompensationsmodellsatz-Speichereinheit

(210-2), die einen Satz eines Kompensationsmodells und einen Kompensationsmodellindex speichert, der eine für die Kompensation vorgesehene Achsenkombination angibt; eine Indexvergleichseinheit (210-3), die den erzeugten Zielachsenindex und den Kompensationsmodellindex vergleicht; und eine Kompensationsmodell-Einstelleinheit (210-4), wenn die Indexvergleichseinheit (210-3) bestimmt, dass der Zielachsenindex und der Kompensationsmodellindex miteinander übereinstimmen, wobei die Kompensationsmodell-Einstelleinheit (210-4) das Kompensationsmodell entsprechend dem übereinstimmenden Kompensationsmodellindex für den Pfad, für den der Zielachsenindex erzeugt wurde, einstellt.

3. Die Wärmeverschiebungs-Kompensations-Vorrichtung (200) nach Anspruch 2, wobei der Zielachsenindex ein Vektor ist, der eine Zielachsennummer enthält, die jede Achse anzeigt, und die Anzahl der Zielachsennummern mindestens der Anzahl der Achsen in einem Pfad entspricht, und die Zielachsennummer ist eine Zahl, die sich aus einer Pfadnummer und einer Achsennummer errechnet und zur Erkennung einer entsprechenden Achse verwendet werden kann.

4. Die Wärmeverschiebungs-Kompensations-Vorrichtung (200) nach Anspruch 2, wobei der Kompensationsmodellindex ein Vektor ist, der eine Kompensationsachsennummer enthält, die jede Achse anzeigt, und die Anzahl der Kompensationsachsennummern mindestens der Anzahl der Achsen in einem Pfad entspricht, und die Kompensationsachsennummer ist eine Zahl, die aus einer Pfadnummer und einer Achsennummer berechnet wird und zur Erkennung einer entsprechenden Achse verwendet werden kann.

5. Die Wärmeverschiebungs-Kompensations-Vorrichtung (200) nach Anspruch 2, umfassend eine Benachrichtigungseinheit, die das Fehlen eines entsprechenden Kompensationsmodells meldet, wenn die Indexvergleichseinheit (210-3) den Kompensationsmodellindex, der mit dem Zielachsenindex übereinstimmt, nicht gefunden hat.

6. Die Wärmeverschiebungs-Kompensations-Vorrichtung (200) nach Anspruch 2, umfassend eine Achsenumschaltungs-Bestimmungseinheit (210-5), die das Auftreten einer Änderung der Achsenkombination in einem beliebigen Pfad erfasst und eine andere Einheit in der Wärmeverschiebungs-Kompensations-Einstelleinheit (210) als die Achsenumschaltungs-Bestimmungseinheit (210-5) anweist, das Kompensationsmodell zurückzusetzen.

7. Die Wärmeverschiebungs-Kompensations-Vorrichtung (200) nach Anspruch 6, wobei, wenn

die Achsenumschaltungs-Bestimmungseinheit (210-5) das Auftreten einer Änderung in der Achsenkombination auf der Grundlage der von einer Achsensteuerungs-Informationserzeugungseinheit (240) erzeugten Steuerachsen-Informationsdaten detektiert, die Zielachsenindex-Erzeugungseinheit (210-1) wieder einen Zielachsenindex erzeugt.

8. Eine numerische Steuerung (200), die einen Befehl an eine Werkzeugmaschine (1) ausgibt, umfassend:

eine Achsensteuereinheit (250), die den von der Wärmeverschiebungs-Kompensations-Vorrichtung (200) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7 berechneten Kompensationswert zu dem Befehl hinzufügt und den kompensierten Befehl an die Werkzeugmaschine ausgibt.

9. Die numerische Steuerung (200) nach Anspruch 8, umfassend eine Betriebszustandsdaten-Speichereinheit (230), die die Betriebszustandsdaten, die einen Betriebszustand der Werkzeugmaschine (1) anzeigen, speichert und die Betriebszustandsdaten an die Einheit (220) zur Wärmeverschiebungs-Kompensation liefert.

Es folgen 13 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

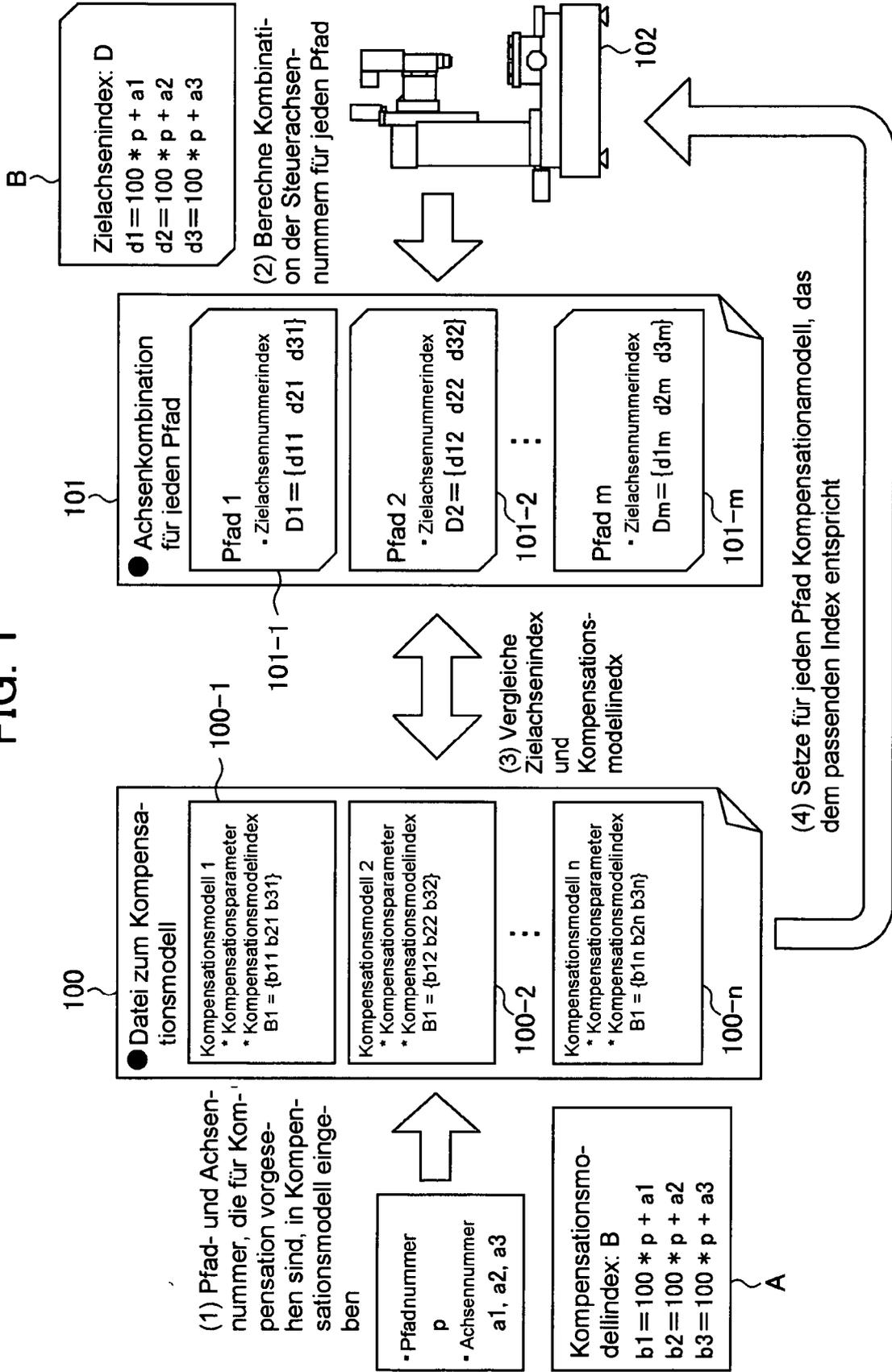


FIG. 3

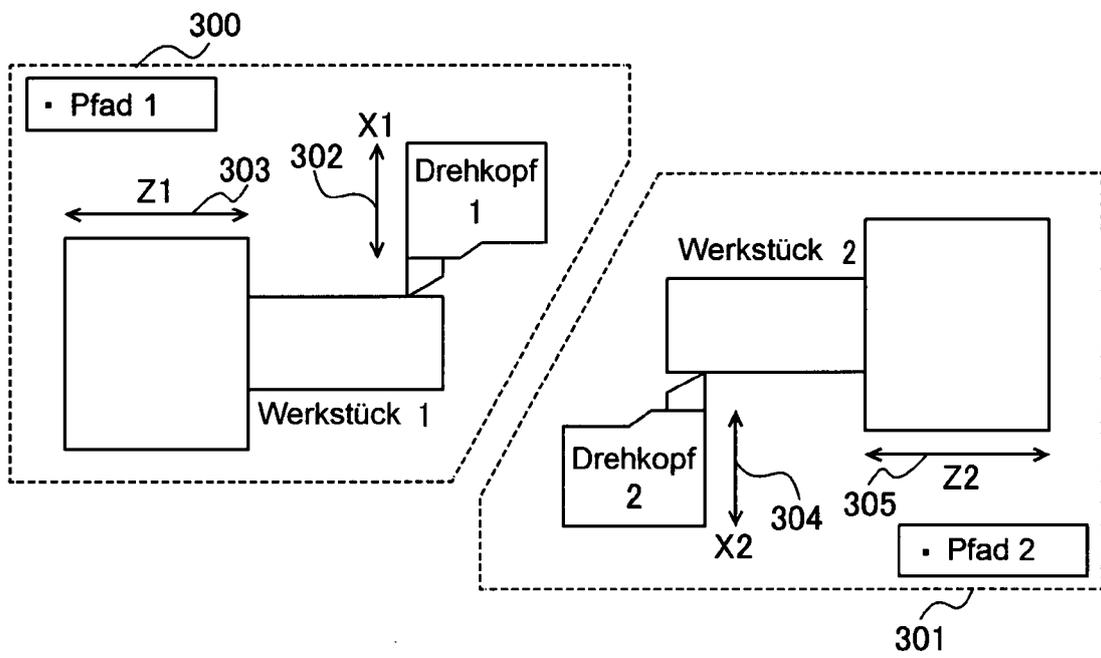
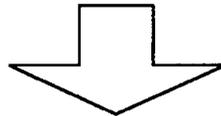


FIG. 4

| | Absolute Pfadnummer | Relative Pfadnummer | Bemerkungen |
|----------|---------------------|---------------------|----------------------------|
| X1 Achse | 1 | 1 | Erster Pfad, erste Achse |
| Z1 Achse | 1 | 2 | Erster Pfad, zweite Achse |
| X2 Achse | 2 | 1 | Zweiter Pfad, erste Achse |
| Z2 Achse | 2 | 2 | Zweiter Pfad, zweite Achse |



Zielachsenindex des Pfads 1 = [101 102 0]

Zielachsenindex des Pfads 2 = [201 202 0]

Zielachsennummer = absolute Pfadnummer * 100 + relative Achsennummer

Zielachsenindex = [Erste Zielachsennummer Zweite Zielachsennummer Dritte Zielachsennummer]

FIG. 5

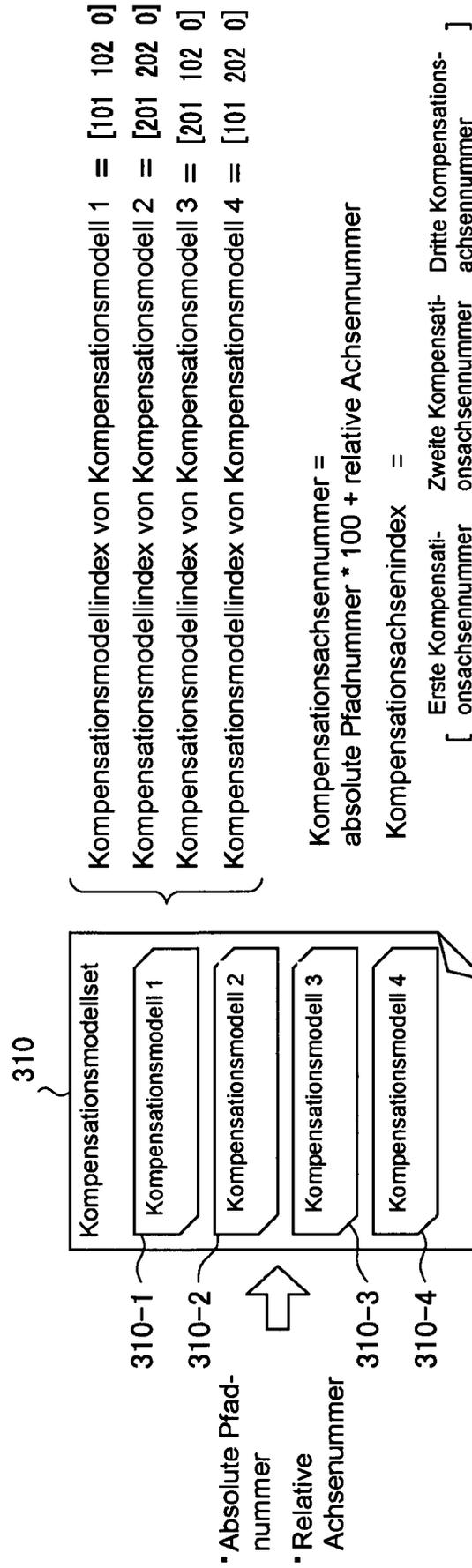


FIG. 6

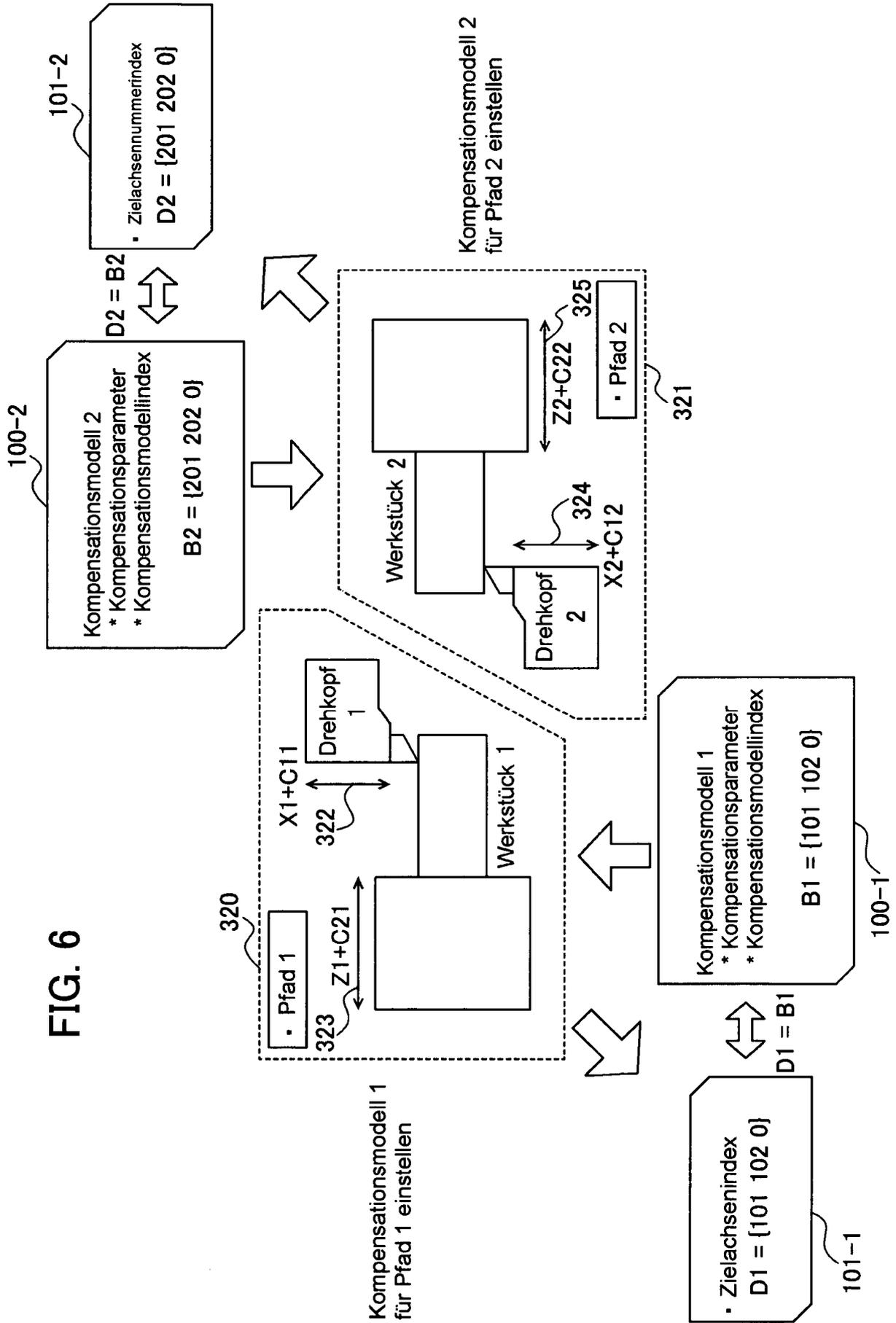


FIG. 7

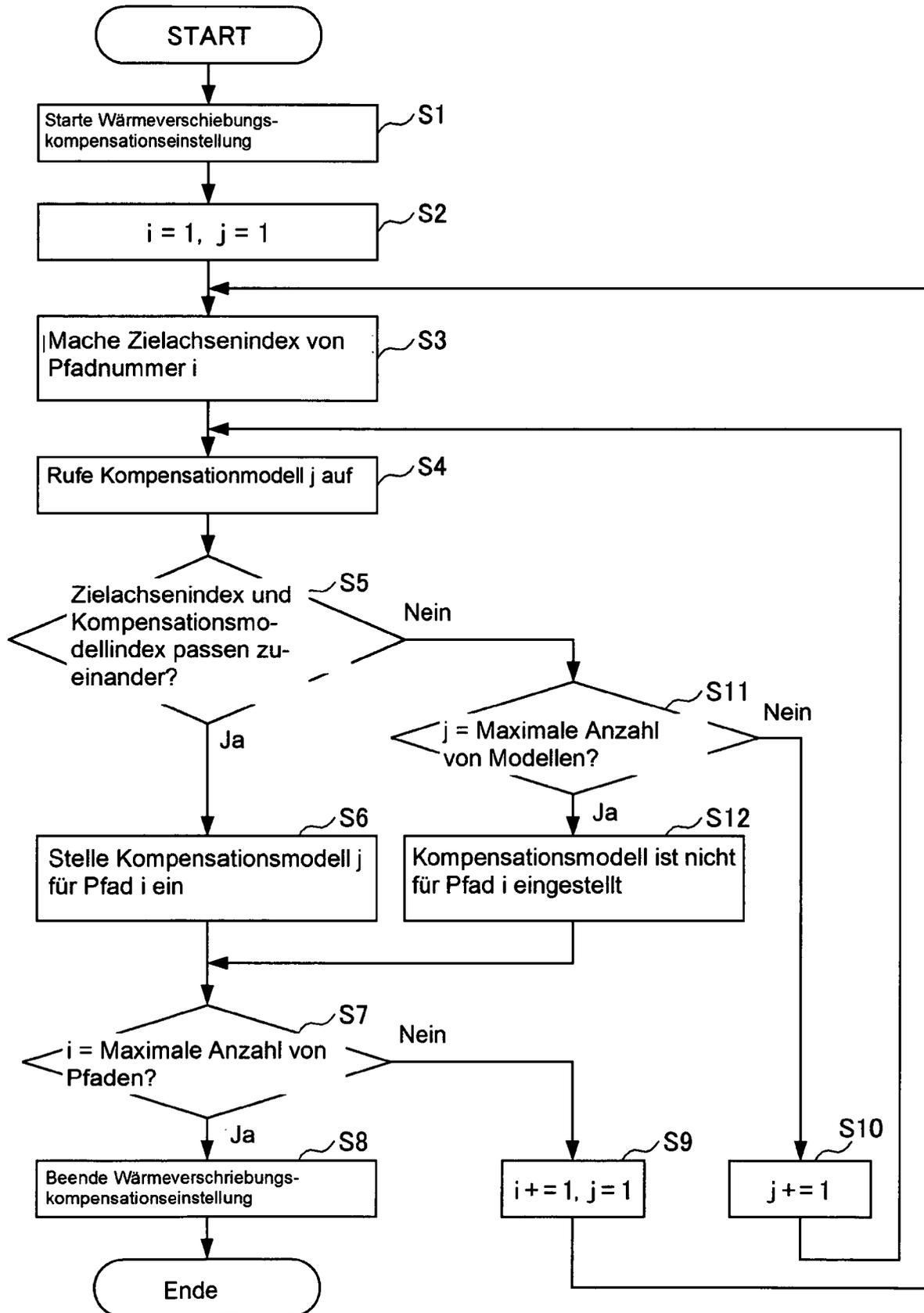
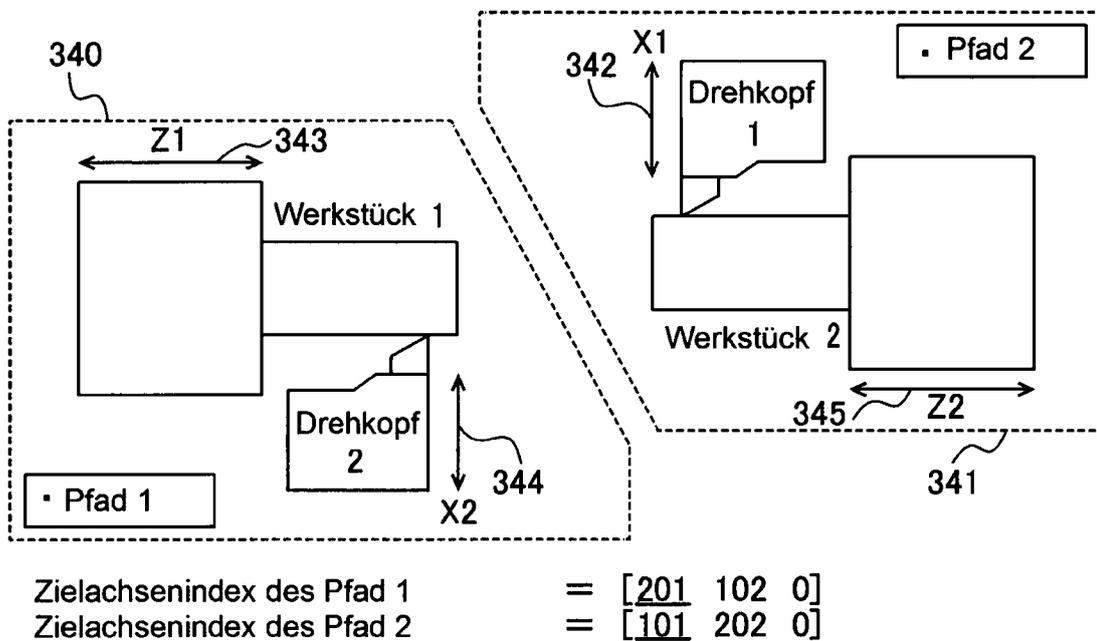
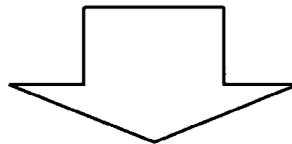
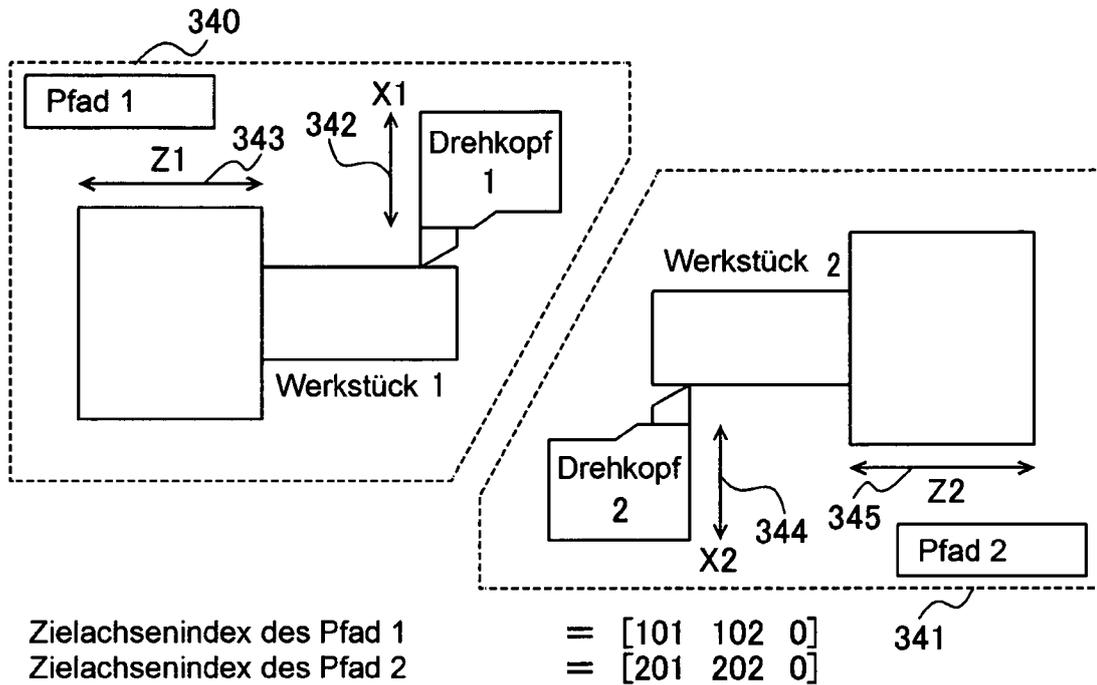


FIG. 8



Zielachsennummer = absolute Pfadnummer * 100 + relative Achsennummer

Zielachsenindex = [Erste Zielachsennummer Zweite Zielachsennummer Dritte Zielachsennummer]

FIG. 9

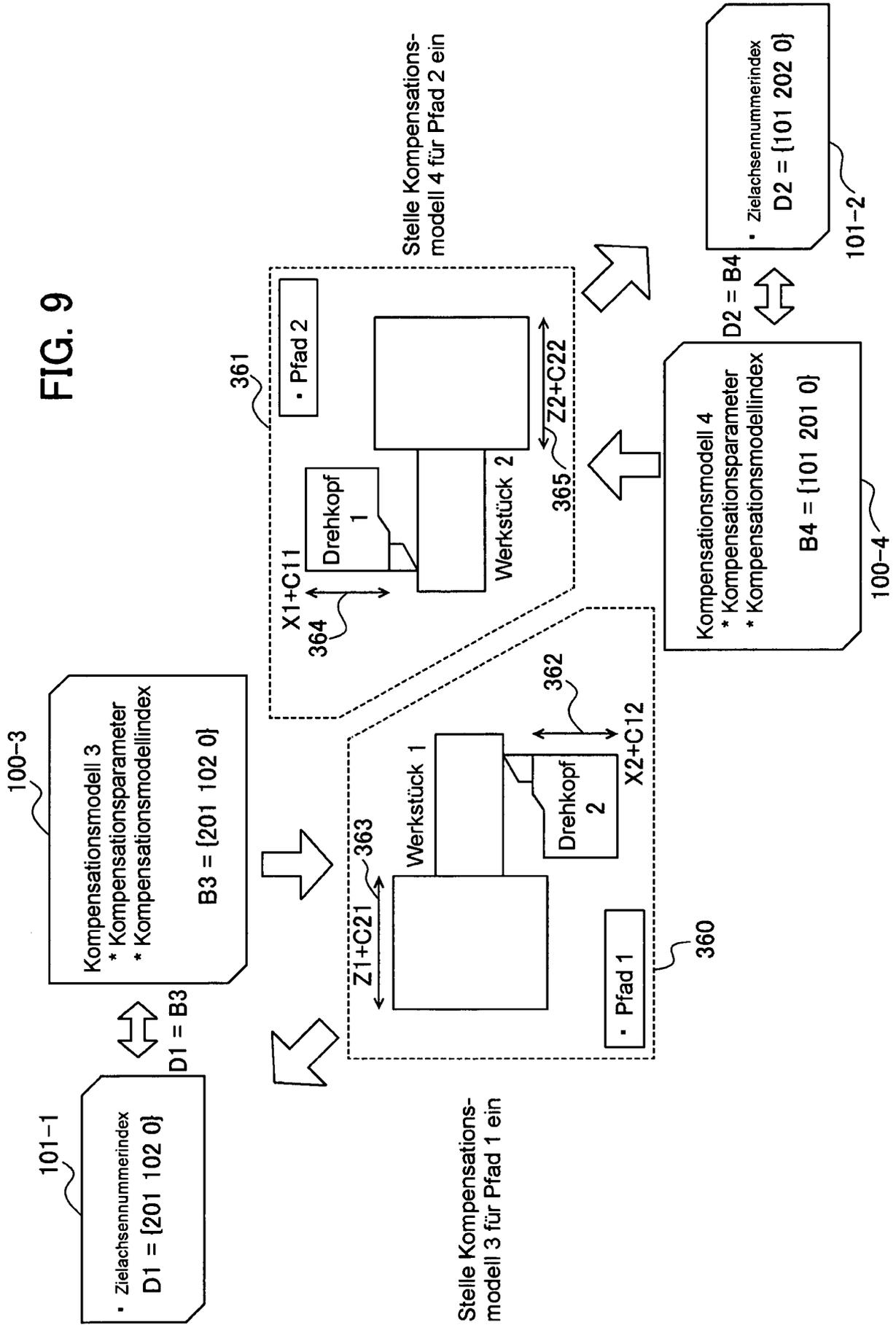


FIG. 10

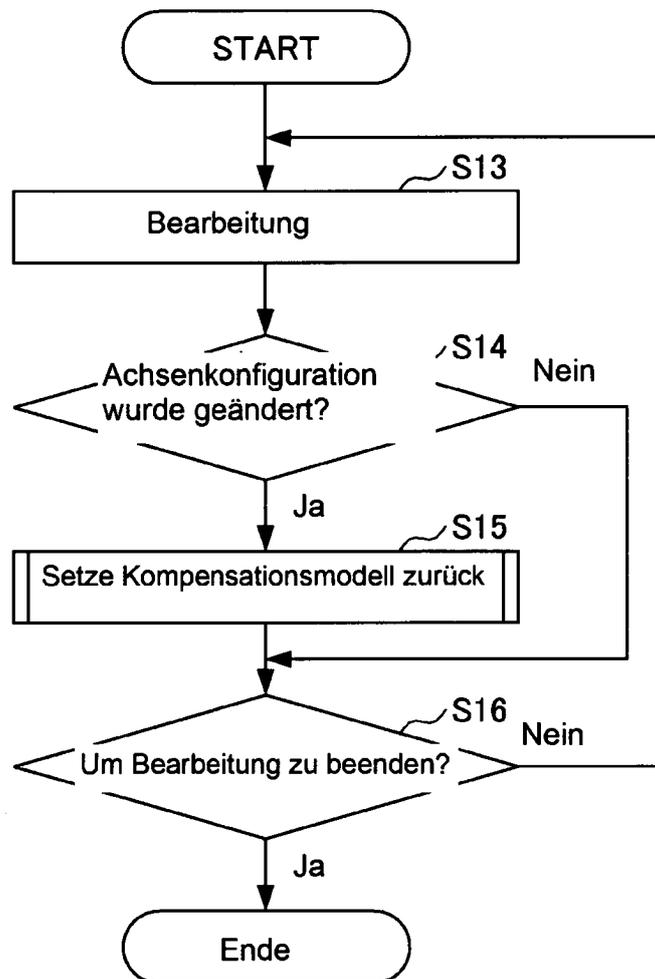


FIG. 11

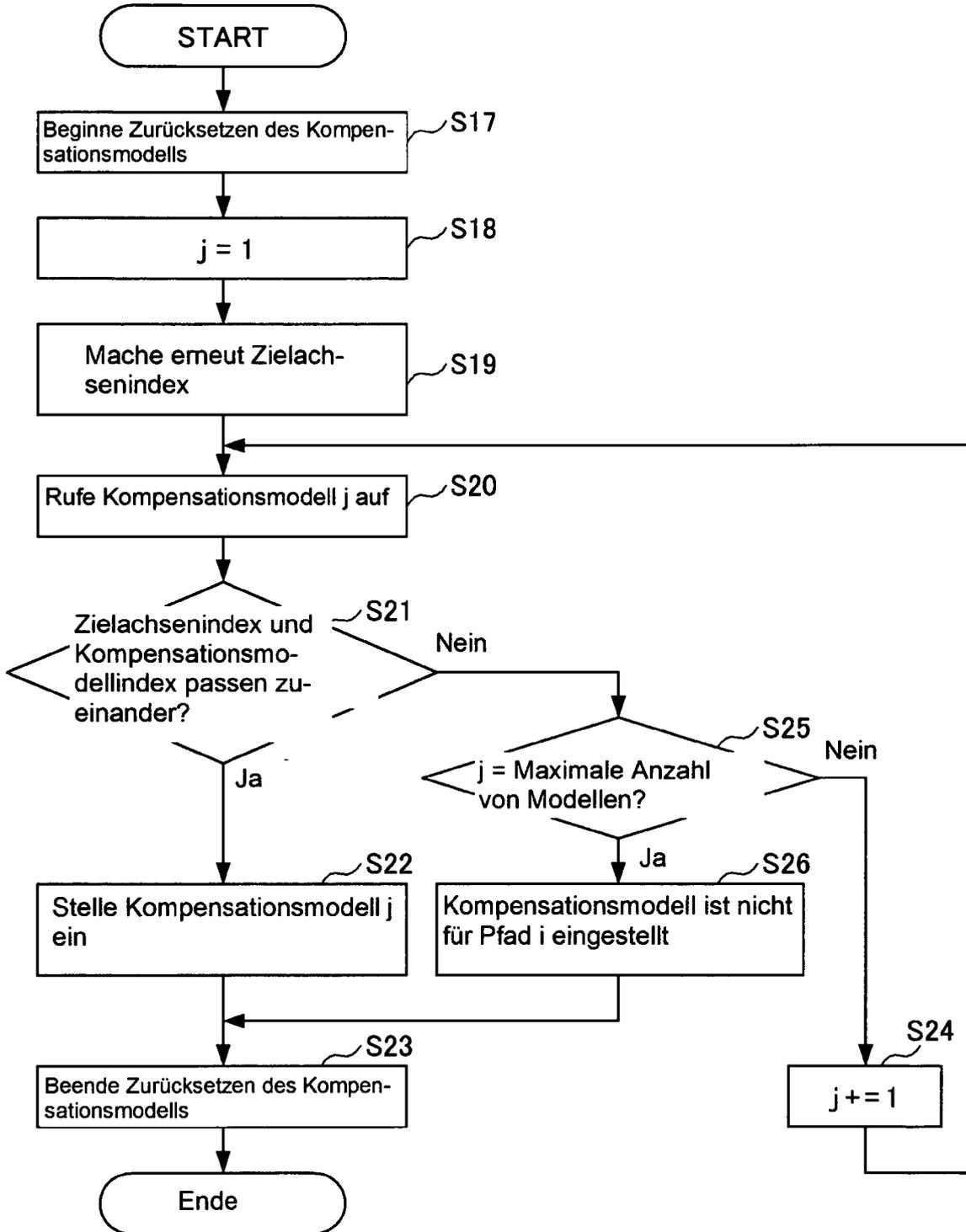


FIG. 12

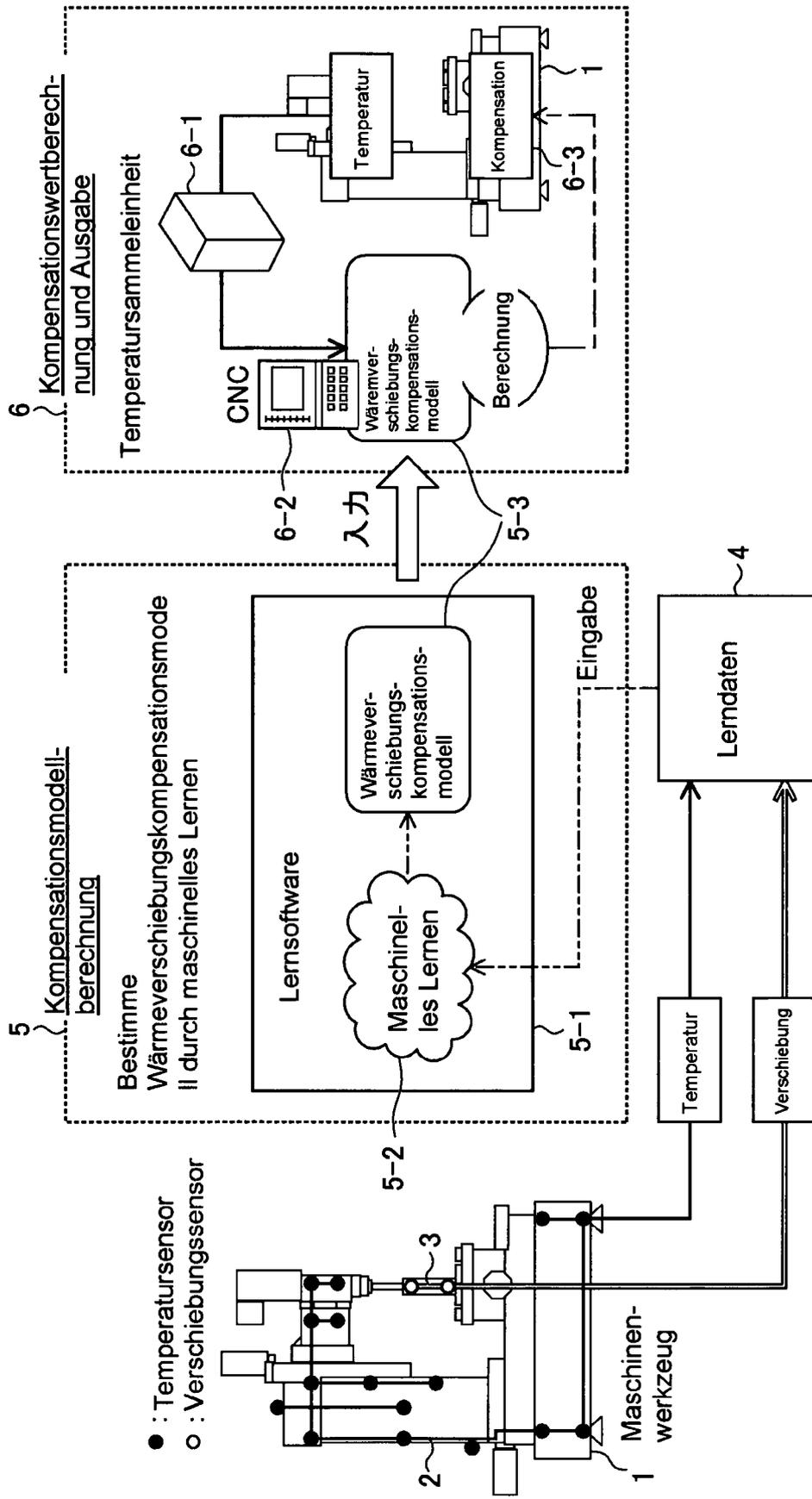


FIG. 13

