(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 11 2020 007 259 T5** 2023.03.16

(12) # Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2021/240778**
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜbkG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2020 007 259.2**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2020/021332**
(86) PCT-Anmeldetag: **29.05.2020**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **02.12.2021**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung in deutscher Übersetzung: **16.03.2023**

(51) Int Cl.: ***B23K 26/03*** (2006.01)
***B23K 26/08*** (2014.01)
***B23K 26/02*** (2014.01)

(71) Anmelder:
**Mitsubishi Electric Corporation, Tokyo, JP**

(74) Vertreter:
**Meissner Bolte Patentanwälte Rechtsanwälte Partnerschaft mbB, 80538 München, DE**

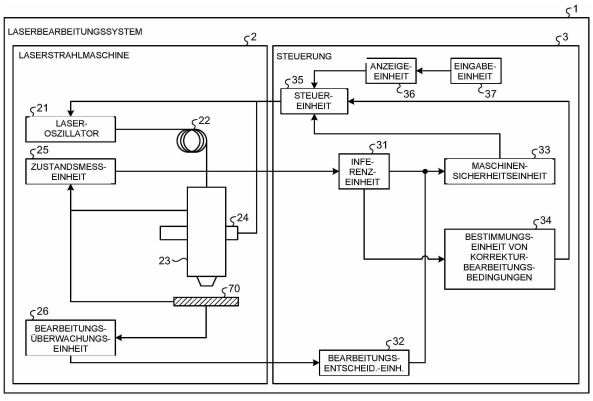
(72) Erfinder:
**Nishiwaki, Motoaki, Tokyo, JP; Fujii, Kenta, Tokyo, JP; Ishikawa, Kyohei, Tokyo, JP**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **LASERBEARBEITUNGSSYSTEM**

(57) Zusammenfassung: Ein Laserbearbeitungssystem (1) beinhaltet eine Zustandsmesseinheit (25), die während der Laserstrahlbearbeitung einen inneren Zustand des Bearbeitungskopfes (23) oder einen sich ändernden Zustand des Werkstücks (70) beobachtet und ein Beobachtungsergebnis als Bearbeitungszustandssignal ausgibt; eine Inferenzeinheit (31) die einen Qualitätsgrad der Laserstrahlbearbeitung als Inferenzergebnis bestimmt, wobei der Qualitätsgrad für jeden der Bearbeitungsfehler, der mindestens eine Art von Bearbeitungsfehler betrifft, auf Grundlage des Bearbeitungszustandssignals abgeleitet wird; eine Bearbeitungsüberwachungseinheit (26), die das Werkstück (70) auf das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein des Bearbeitungsfehlers überwacht und ein Überwachungsergebnis als Überwachungssignal ausgibt; eine Bearbeitungsentscheidungseinheit (32), die auf Grundlage des Überwachungssignals entscheidet, ob die mindestens eine Art von Bearbeitungsfehler vorliegt oder nicht, und als Entscheidungsergebnis eine Qualität der Laserstrahlbearbeitung bestimmt; und eine Maschinensicherheitseinheit (33), die auf Grundlage des Inferenzergebnisses und des Entscheidungsergebnisses ein Steuersignal ausgibt, das eine Anweisung darüber gibt, ob die Laserstrahlbearbeitung anzuhalten oder fortzusetzen ist.



## Beschreibung

### Gebiet

**[0001]** Die vorliegende Offenbarung betrifft ein Laserbearbeitungssystem, das ein Werkstück mit einem Laserstrahl bearbeitet.

### Stand der Technik

**[0002]** Ein Anwender hat häufig Standardbearbeitungsbedingungen verwendet, bei denen es sich um von einem Hersteller vorbereitete Bearbeitungsbedingungen zum Bearbeiten von Werkstücken mit einem Laserbearbeitungssystem handelt. Bearbeitungsparameter und Parameterwerte werden für jedes Material oder jede Dicke des Werkstücks, das bzw. die für die Laserstrahlbearbeitung verwendet wird, in der Standardbearbeitungsbedingung eingestellt. Es gibt jedoch viele Fälle, in denen gewünschte Bearbeitungsqualitäten nicht erhalten werden können, selbst wenn die Standardbearbeitungsbedingungen für die Bearbeitung verwendet werden, sodass der Anwender die Bearbeitungsbedingungen während der Produktion modifiziert.

**[0003]** Vor diesem Hintergrund hat die Anwendung von Techniken des maschinellen Lernens auf Werkzeugmaschinen Aufmerksamkeit erregt. Es gibt beispielsweise eine laufende technische Forschung zur Erkennung von Anomalien oder zur vorausschauenden Wartung von Systemen. In einem System, das mit einer Technik des maschinellen Lernens ausgestattet ist, gibt es Fälle, in denen ein Inferenzergebnis falsch ist oder übersehen wird. Um zu verhindern, dass eine unbeabsichtigte Bewegung eines Bearbeitungsapparats eines Anwenders verursacht wird, die durch eine Steuerung unter Nutzung von maschinellem Lernen kombiniert mit einem herkömmlichen Verfahren verursacht wird und zu einer Unterbrechung der Maschine führt, ist eine sichergestellte Sicherheit des Systems notwendig.

**[0004]** Es wurden Techniken vorgeschlagen, die die Sicherheit von Vorrichtungen des maschinellen Lernens gewährleisten. Patentliteratur 1 offenbart zum Beispiel eine Steuerung und eine Vorrichtung des maschinellen Lernens. Die Sicherheit der Vorrichtung des maschinellen Lernens wird durch Erstellen einer Eingabesicherheitsschaltung und einer Ausgabesicherheitsschaltung und Erkennen anomaler Werte mit mindestens einer der Sicherheitsschaltungen sichergestellt. Die Eingabesicherheitsschaltung erkennt anomale Werte, wie etwa Rauschen aus internen Daten und externen Daten, die eine Zustandsbeobachtungseinheit von einer Fertigungsmaschine misst, und gibt sichere Eingabedaten aus, und die Ausgabesicherheitsschaltung erkennt Anomalien in Inferenzdaten.

**[0005]** Patentliteratur 2 offenbart ein Anomalieerkennungssystem und ein Modellerzeugungsverfahren, die, zum Erzeugung eines hochgenauen Anomalieerkennungsmodells vor dem eigentlichen Betrieb, mehrere Merkmale aus in einer Zustandswertspeichereinheit gespeicherten Zustandswerten erzeugen, auf Grundlage der erzeugten Merkmale Wichtigkeitsgrade berechnen, die bei der Anomalieerkennung wirksam sind, und die Integration der Wichtigkeitsgrade und eine Rangfolge der Merkmale nach mehreren Verfahren bestimmen. Anders ausgedrückt reduzieren die in der Patentliteratur 1 und 2 offenbarten Techniken Fehlentscheidungen mit den entwickelten Vor- und Nachbearbeitungen beim maschinellen Lernen oder mit der höheren Genauigkeit des Modells.

### Liste der Anführungen

#### Patentliteratur

Patentdokument 1: Japanische Offenlegungsschrift Nr. 2019-86928

Patentdokument 2: Japanische Offenlegungsschrift Nr. 2019-185530

### Kurzdarstellung

#### Technische Aufgabe

**[0006]** Die in der Patentliteratur 1 offenbarte Technik stellt eine Erkennung eines anomalen Wertes, wie etwa von Rauschen oder von einem Ausreißer, im Voraus bereit, wenn Daten in die Vorrichtung des maschinellen Lernens eingegeben werden, wodurch eine Reduktion des Einflusses des anomalen Wertes so weit wie möglich und eine erhöhte Genauigkeit der Lerndaten ermöglicht werden. Darüber hinaus ermöglicht die in der Patentliteratur 1 offenbarte Technik die Erkennung eines anomalen Wertes selbst in einem ausgegebenen Ergebnis der Vorrichtung des maschinellen Lernens oder eine Modifizierung des Ergebnisses, wodurch einem Anwender ermöglicht wird, die Vorrichtung des maschinellen Lernens sicher zu benutzen. Selbst mit der erhöhten Genauigkeit der Lerndaten kann die in der Patentliteratur 1 offenbarte Technik jedoch keine Fehlentscheidungen von ausgegebenen Ergebnissen der Vorrichtung des maschinellen Lernens oder unerkannte Fehlentscheidungen beseitigen. Außerdem erfordert die in der Patentliteratur 1 offenbarte Technik, dass ein Mensch entscheidet, ob das ausgegebene Ergebnis der Vorrichtung des maschinellen Lernens eine Fehlentscheidung ist.

**[0007]** Beim Optimieren eines zu einem Steuerbefehl für einen Servomotor hinzuzufügenden Kompensationswertes stellt die in der Patentliteratur 2 offenbarte Technik eine Sicherheitsfunktionalität durch Bereitstellen einer Begrenzungseinheit sicher, die

einen begrenzten Bereich von Steuerbefehlen bereitstellt, um zu verhindern, dass der Steuerbefehl mit dem hinzugefügten Kompensationswert einen instabilen Betrieb verursacht. In Fällen, bei denen mehrere Variablen, wie etwa Bearbeitungsparameter, optimiert werden, während eine Werkzeugmaschine eine Bearbeitung durchführt, kann jedoch ein einfaches Bereitstellen der Begrenzungseinheit eine fortgesetzte Inferenz des maschinellen Lernens möglicherweise nicht ermöglichen. Anders ausgedrückt besteht bei der in der Patentliteratur 2 offenbarten Technik die Möglichkeit eines anomalen Betriebs aufgrund eines Steuerbefehls, der auf einem Ergebnis der Inferenz des maschinellen Lernens basiert.

**[0008]** Die vorliegende Offenbarung wurde in Anbetracht des Vorstehenden erstellt und eine Zielsetzung der vorliegenden Offenbarung besteht darin, ein Laserbearbeitungssystem zu erhalten, das eine Unterbrechung einer Maschine selbst dann verhindert, wenn ein Ergebnis einer Inferenz des maschinellen Lernens falsch ist oder übersehen wird.

## Lösung der Aufgabe

**[0009]** Um die vorstehenden Aufgaben zu lösen und eine Zielsetzung zu erreichen, beinhaltet ein Laserbearbeitungssystem gemäß der vorliegenden Offenbarung Folgendes: eine Antriebseinheit, um relative Positionen eines Bearbeitungskopfes, der einen von einem Laseroszillator emittierten Strahl beim Bestrahlen eines Werkstücks fokussiert, und des Werkstücks zu verändern; eine Steuereinheit, um Betriebsbefehle für die Antriebseinheit und den Laseroszillator auf Grundlage eines Steuersignals und einer Bearbeitungsbedingung, die Parameter und numerische Werte für eine Laserstrahlbearbeitung spezifiziert, zu bestimmen; eine Zustandsmesseinheit, um während der Laserstrahlbearbeitung einen inneren Zustand des Bearbeitungskopfes oder einen sich ändernden Zustand des Werkstücks zu beobachten und ein Beobachtungsergebnis als Bearbeitungszustandssignal auszugeben; eine Inferenzeinheit, um einen Qualitätsgrad der Laserstrahlbearbeitung als Inferenzergebnis zu bestimmen, wobei der Qualitätsgrad für jeden Bearbeitungsfehler, der mindestens eine Art von Bearbeitungsfehler betrifft, auf Grundlage des Bearbeitungszustandssignals abgeleitet wird; eine Bearbeitungsüberwachungseinheit, um das Werkstück auf das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein des Bearbeitungsfehlers zu überwachen und ein Überwachungsergebnis als Überwachungssignal auszugeben; eine Bearbeitungsentscheidungseinheit, um auf Grundlage des Überwachungssignals zu entscheiden, ob die mindestens eine Art von Bearbeitungsfehler vorliegt oder nicht, und als Entscheidungsergebnis eine Qualität der Laserstrahlbearbeitung zu bestimmen; und eine Maschinensicherheitseinheit, um auf Grundlage des Inferenzergebnisses und des Entscheidungsergebnisses das Steuersignal auszugeben, das eine Anweisung darüber gibt, ob die Laserstrahlbearbeitung anzuhalten oder fortzusetzen ist.

## Vorteilhafte Wirkungen der Erfindung

**[0010]** Das Laserbearbeitungssystem gemäß der vorliegenden Offenbarung ist wirksam beim Verhindern der Unterbrechung einer Maschine, selbst wenn ein Ergebnis der Inferenz des maschinellen Lernens falsch ist oder übersehen wird.

## Figurenliste

**Fig. 1** ist eine Darstellung, die eine Ausgestaltung eines Laserbearbeitungssystems gemäß einer ersten Ausführungsform veranschaulicht.

**Fig. 2** ist ein Ablaufdiagramm, das einen Betriebsablauf des Laserbearbeitungssystems gemäß der ersten Ausführungsform veranschaulicht.

**Fig. 3** veranschaulicht ein Beispiel für die Oberfläche eines Werkstücks, wo eine Aushöhlung aufgetreten ist.

**Fig. 4** veranschaulicht ein Beispiel für die Schnittfläche eines Werkstücks mit erzeugten Bearbeitungsmängeln.

**Fig. 5** ist eine Darstellung, die ein Beispiel für ein Modell des maschinellen Lernens veranschaulicht, das in Fällen zu verwenden ist, in denen eine Inferenzeinheit des Laserbearbeitungssystems gemäß der ersten Ausführungsform maschinelles Lernen beim Durchführen der Entscheidungsverarbeitung verwendet.

**Fig. 6** ist eine Darstellung, die ein Beispiel für eine Ausgestaltung der Inferenzeinheit in dem Laserbearbeitungssystem gemäß der ersten Ausführungsform veranschaulicht.

**Fig. 7** ist eine Darstellung, die ein Beispiel für eine Entscheidungsverarbeitung veranschaulicht, die eine Bearbeitungsentscheidungseinheit des Laserbearbeitungssystems gemäß der ersten Ausführungsform unter Verwendung einer Signalverarbeitung durchführt.

**Fig. 8** ist eine Darstellung, die eine Ausgestaltung eines Laserbearbeitungssystems gemäß einer zweiten Ausführungsform veranschaulicht.

**Fig. 9** ist eine Darstellung, die eine Bearbeitungstoleranz veranschaulicht.

**Fig. 10** ist ein Ablaufdiagramm, das einen Betriebsablauf des Laserbearbeitungssystems gemäß der zweiten Ausführungsform veranschaulicht.

**Fig. 11** ist eine Darstellung, die eine Ausgestaltung eines Laserbearbeitungssystems gemäß einer dritten Ausführungsform veranschaulicht.

**Fig. 12** ist eine Darstellung, die eine Variation der Bearbeitungstoleranz nach Materialzuständen und Bearbeitungszuständen veranschaulicht.

**Fig. 13** ist ein Ablaufdiagramm, das einen Betriebsablauf des Laserbearbeitungssystems gemäß der dritten Ausführungsform veranschaulicht.

**Fig. 14** ist eine Darstellung, die einen Prozessor in Fällen veranschaulicht, in denen der Prozessor dazu verwendet wird, mindestens einen Teil der Inferenzeinheit, der Bearbeitungsentscheidungseinheit, einer Maschinensicherheitseinheit, einer Bestimmungseinheit von Korrekturbearbeitungsbedingungen, einer Steuereinheit, einer Anzeigeeinheit und einer Eingabeeinheit einer Steuerung des Laserbearbeitungssystems gemäß der ersten Ausführungsform umzusetzen.

**Fig. 15** ist eine Darstellung, die eine Verarbeitungsschaltung in Fällen veranschaulicht, in denen die Verarbeitungsschaltung dazu verwendet wird, mindestens einen Teil der Inferenzeinheit, der Bearbeitungsentscheidungseinheit, der Maschinensicherheitseinheit, der Bestimmungseinheit von Korrekturbearbeitungsbedingungen, der Steuereinheit, der Anzeigeeinheit und der Eingabeeinheit der Steuerung des Laserbearbeitungssystems gemäß der ersten Ausführungsform umzusetzen.

## Beschreibung von Ausführungsformen

**[0011]** Unter Bezugnahme auf die Zeichnungen ist nachfolgend in dieser Schrift eine detaillierte Beschreibung von Laserbearbeitungssystemen gemäß Ausführungsformen bereitgestellt.

### Erste Ausführungsform.

**[0012] Fig. 1** ist eine Darstellung, die eine Ausgestaltung eines Laserbearbeitungssystems 1 gemäß einer ersten Ausführungsform veranschaulicht. Das Laserbearbeitungssystem 1 ist ein System, das ein Werkstück 70 mit einem Laserstrahl bearbeitet. **Fig. 1** veranschaulicht zudem das Werkstück 70. Das Laserbearbeitungssystem 1 beinhaltet eine Laserstrahlmaschine 2, die einen Laserstrahl emittiert, und eine Steuerung 3, die die Laserstrahlmaschine 2 steuert. Die Laserstrahlmaschine 2 beinhaltet einen Laseroszillator 21, einen Strahlengang 22, einen Bearbeitungskopf 23, eine Antriebseinheit 24, eine Zustandsmesseinheit 25 und eine Bearbeitungsüberwachungseinheit 26.

**[0013]** Der Laseroszillator 21 emittiert auf Grundlage eines Betriebsbefehls, der von der Steuereinheit 35 der Steuerung 3 bestimmt wird, einen oszillierten Laserstrahl. Eine detaillierte Beschreibung der Steuerung 3 wird später beschrieben. Der Laseroszillator 21 kann eine Vorrichtung sein, die dazu fähig ist, eine Emission zwischen kontinuierlicher Wellenoszillation und gepulster Oszillation umzuschalten. Wenn der Laseroszillator 21 eine gepulste Oszillation durchführt, können für den Laseroszillator 21 eine Pulsfrequenz und ein Einsatz eingestellt werden. Der Laseroszillator 21 kann eine Vorrichtung sein, die nur eine der kontinuierlichen und gepulsten Oszillation durchführt.

**[0014]** Der Laseroszillator 21 ist nicht auf eine bestimmte Art begrenzt. Der Laseroszillator 21 kann beispielsweise ein Gaslaser, wie etwa ein Kohlendioxidlaser oder ein Festkörperlaser sein, der beispielsweise einen Yttrium-Aluminium-Granat(YAG)-Kristall als Medium verwendet. Der Laseroszillator 21 kann ein Faserlaser, der eine Lichtleitfaser als Anregungsmedium verwendet, oder ein Direktdiodenlaser sein, der von Laserdioden emittierte Laserstrahlen koppelt. Die Laserstrahlmaschine 2 kann eine Vielzahl von Laseroszillatoren beinhalten, die den Laseroszillator 21 beinhaltet.

**[0015]** Der vom Laseroszillator 21 emittierte Laserstrahl wird über den Strahlengang 22 zum Bearbeitungskopf 23 übertragen. Der Strahlengang 22 ist ein Übertragungsweg zum Bearbeitungskopf 23 für den vom Laseroszillator 21 emittierten Laserstrahl. Der Strahlengang 22 kann ein Ausbreitungsweg für den Laserstrahl durch Luft, beispielsweise mit Verwendung eines Spiegels, oder ein Übertragungsweg für den Laserstrahl durch eine Lichtleitfaser sein. Der Strahlengang 22 ist für das Oszillationsverfahren, die Art und Ausgangsleistung des Laseroszillators 21 sowie eine Wellenlänge und Eigenschaften des Laserstrahls geeignet.

**[0016]** Der Bearbeitungskopf 23 fokussiert den Laserstrahl und bestrahlt das Werkstück 70 mit dem Laserstrahl. Indem es durch den Bearbeitungskopf 23 mit dem Laserstrahl bestrahlt wird, wird das Werkstück 70 bearbeitet. Beispielsweise wird das Werkstück 70 geschnitten, indem es durch den Bearbeitungskopf 23 mit dem Laserstrahl bestrahlt wird. Um das Werkstück 70 ordnungsgemäß zu schneiden, beinhaltet der Bearbeitungskopf 23 ein optisches System, das den Laserstrahl auf einen geeigneten Punkt fokussiert. Das optische System ist nicht veranschaulicht. Ein Beispiel für ein in dem optischen System beinhaltetes Element ist eine Sammellinse oder eine Linsenkassette.

**[0017]** Dem Bearbeitungskopf 23 wird ein Bearbeitungsgas zugeführt. Der Bearbeitungskopf 23 führt das Bearbeitungsgas dem Werkstück 70 zu, wenn

er das Werkstück 70 mit dem Laserstrahl bestrahlt. Der Bearbeitungskopf 23 beinhaltet einen Gasdurchlass zum Zuführen des Bearbeitungsgases zum Werkstück 70. Der Gasdurchlass ist nicht veranschaulicht. Es wird bevorzugt, dass der Bearbeitungskopf 23 Funktionen aufweist, um das Bearbeitungsgas dem Werkstück 70 mit einem Druck zuzuführen, der für eine Dicke des Werkstücks 70 geeignet ist.

**[0018]** An einem vorderen Ende des Bearbeitungskopfes 23 ist eine Bearbeitungsdüse angebracht. Die Bearbeitungsdüse ist nicht veranschaulicht. Die Bearbeitungsdüse beinhaltet eine Öffnung. Die Öffnung ist zum Beispiel in einem Strahlengang zwischen der Sammellinse und dem Werkstück 70 ausgebildet. Der Laserstrahl und das Bearbeitungsgas treten durch die Öffnung hindurch. Damit der Laserstrahl auf den für das Werkstück 70 geeigneten Punkt fokussiert wird, verfügt die Bearbeitungsdüse wünschenswerterweise entweder über eine Funktion zum Erkennen eines Abstands zwischen dem Bearbeitungskopf 23 und dem Werkstück 70 oder über eine Funktion zum Erkennen einer relativen Position des Bearbeitungskopfes 23 in Bezug auf das Werkstück 70 oder beide.

**[0019]** Die Antriebseinheit 24 verfügt über eine Funktion zum Verändern der relativen Positionen des Bearbeitungskopfes 23 und des Werkstücks 70 auf Grundlage eines Steuersignals, das von der Steuereinheit 35 der Steuerung 3 bestimmt wird. Anders ausgedrückt verändert die Antriebseinheit 24 die relativen Positionen des Bearbeitungskopfes 23, der den vom Laseroszillator 21 emittierten Strahl fokussiert und das Werkstück 70 bestrahlt, und des Werkstücks 70. Die Antriebseinheit 24 kann den Bearbeitungskopf 23 mit einer Sollgeschwindigkeit in eine spezifizierte Position bewegen. Die Antriebseinheit 24 kann eine Bearbeitungspalette, auf der das Werkstück 70 angeordnet ist, mit einer Sollgeschwindigkeit in eine spezifizierte Position bewegen. Die Bearbeitungspalette ist nicht veranschaulicht.

**[0020]** Die Antriebseinheit 24 ist beispielsweise eine Servosteuerung, die einen Linearmotor und einen Positionsdetektor beinhaltet. Die Antriebseinheit 24 kann eine Vorrichtung sein, die ein Antriebssystem verwendet, das einen Elektromotor und ein Getriebe oder einen Antriebsmechanismus mit einer rotierenden Welle verwendet. Beispielsweise beinhaltet die Antriebseinheit 24 einen Elektromotor, der sich unter der Steuerung der Steuerung 3 dreht, womit er die relativen Positionen des Bearbeitungskopfes 23 und des Werkstücks 70 verändert.

**[0021]** Die Zustandsmesseinheit 25 misst einen inneren Zustand des Bearbeitungskopfes 23 oder einen Zustand des Werkstückes 70 ab dem Zeitpunkt, wenn die Bearbeitung beginnt, bis zu dem Zeitpunkt, wenn die Bearbeitung endet. Insbesondere beobachtet die Zustandsmesseinheit 25 den inneren Zustand des Bearbeitungskopfes 23 oder den sich ändernden Zustand des Werkstücks 70 während der Laserstrahlbearbeitung und gibt als Bearbeitungszustandssignal ein Beobachtungsergebnis aus. Die Zustandsmesseinheit 25 kann den inneren Zustand des Bearbeitungskopfs 23 und den Zustand des Werkstücks 70 ab dem Zeitpunkt, wenn die Bearbeitung beginnt, bis zu dem Zeitpunkt, wenn die Bearbeitung endet, messen. Die Zustandsmesseinheit 25 kann reflektiertes Licht erkennen, das während der Bearbeitung erzeugt wird und über den Strahlengang 22 zum Laseroszillator 21 gelangt. Die Zustandsmesseinheit 25 startet die Messung auf Grundlage eines Bearbeitungsstartbefehls und eines Signals. Die Zustandsmesseinheit 25 kann eine autonome Messvorrichtung sein, die keine menschliche Arbeit als Eingriff erfordert. Ein Messstartbefehl kann in ein Bearbeitungsprogramm geschrieben sein, das zur Bearbeitung verwendet wird.

**[0022]** Die Zustandsmesseinheit 25 misst mindestens eines von: Amplituden und Intensitäten von Streulicht und reflektiertem Licht, die während der Bearbeitung erzeugt werden; ein Schallspektrum und eine Schallintensität des Bearbeitungsgases; oder eine Komponententemperatur innerhalb des Bearbeitungskopfes 23. Die Zustandsmesseinheit 25 quantifiziert Informationen, die aus der Messung erhalten werden, in Form einer Zustandsvariablen, die einen Bearbeitungszustand angibt. Die Zustandsmesseinheit 25 gibt ein quantifiziertes Erkennungsergebnis als Bearbeitungssignal an die Steuerung 3 aus.

**[0023]** Die Zustandsmesseinheit 25 ist beispielsweise ein optischer Sensor, wie etwa eine Fotodiode, ein ladungsgekoppelter Sensor (Charge-Coupled Device sensor - CCD-Sensor), ein komplementärer Metall-Oxid-Halbleiter-Sensor (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor sensor - CMOS-Sensor) oder ein Spektroskop, ein akustischer Sensor, wie etwa ein Mikrofon, ein Drucksensor oder ein Temperatursensor, wie etwa ein Thermoelement. Die Zustandsmesseinheit 25 kann eine Vorrichtung sein, die mehrere der vorgenannten optischen, akustischen, Druck- und Temperatursensoren kombiniert. Die Zustandsmesseinheit 25 kann, wie vorstehend beschrieben, mindestens einen von einem akustischen Sensor, einem optischen Sensor, einem Beschleunigungssensor oder einem Temperatursensor beinhalten.

**[0024]** Die Laserstrahlmaschine 2 kann eine Vielzahl von Zustandsmesseinheiten beinhalten, die die Zustandsmesseinheit 25 beinhalten. In Fällen, in denen die Laserstrahlmaschine 2 die Vielzahl von Zustandsmesseinheiten beinhaltet, kann die Vielzahl

von Zustandsmesseinheiten unterschiedlicher Art sein.

**[0025]** Die Bearbeitungsüberwachungseinheit 26 misst Bearbeitungsfehler, die an einer vorderen und einer hinteren Fläche des Werkstücks 70 auftreten. Die vordere Fläche des Werkstücks 70 ist eine von zwei Flächen des Werkstücks 70, die mit dem Laserstrahl bestrahlt wird. Die hintere Fläche des Werkstücks 70 ist eine der beiden Flächen des Werkstücks 70, die der vorderen Fläche gegenüberliegt. Anders ausgedrückt überwacht die Bearbeitungsüberwachungseinheit 26 das Werkstück 70 auf etwaige Bearbeitungsfehler und gibt ein Überwachungsergebnis als Überwachungssignal aus. Insbesondere misst die Bearbeitungsüberwachungseinheit 26 gemäß einem Überwachungssignal und einem Befehl, die von der Steuereinheit 35 der Steuerung 3 ausgegeben werden, entweder einen Zustand der vorderen Fläche des Werkstücks 70 oder einen Zustand der hinteren Fläche des Werkstücks 70 oder beide. Ein Messstartbefehl kann in das Bearbeitungsprogramm geschrieben sein, das zur Bearbeitung verwendet wird.

**[0026]** Die Bearbeitungsüberwachungseinheit 26 misst einen Teil oder die Gesamtheit des Temperaturübergangs, der Emissionsintensität und eines Bildes für eines oder beide der vorderen und hinteren Fläche des Werkstücks 70 und quantifiziert den Zustand des Werkstücks 70, wie etwa das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein von geschmolzenem Material und einen Bereich des geschmolzenen Materials.

**[0027]** Wie bei der Zustandsmesseinheit 25 gibt die Bearbeitungsüberwachungseinheit 26 ein quantifiziertes Ergebnis als Bearbeitungssignal an die Steuerung 3 aus.

**[0028]** Die Bearbeitungsüberwachungseinheit 26 ist beispielsweise ein optischer Sensor, wie etwa eine Fotodiode, eine Netzwerkkamera, eine Laserbildgebungs-, Erkennungs- und Abstandskamera (Laser Imaging, Detection and Ranging camera - LiDAR-Kamera) oder eine Flugzeit-Kamera (Time-of-Flight camera - ToF-Kamera), ein Temperatursensor, wie etwa ein Strahlungsthermometer, oder ein Abstandssensor, wie etwa ein taktiler Sensor oder ein Ultraschallsensor. Die Bearbeitungsüberwachungseinheit 26 kann eine Vorrichtung sein, die mehrere der vorgenannten optischen, Temperatur- und Abstandssensoren kombiniert. Die Bearbeitungsüberwachungseinheit 26 kann, wie vorstehend beschrieben, mindestens eines von einem akustischen Sensor, einem optischen Sensor, einer Kamera, einem Vibrationssensor oder einem Abstandssensor beinhalten.

**[0029]** Die Bearbeitungsüberwachungseinheit 26 kann um den Bearbeitungskopf 23 herum oder an der Antriebseinheit 24 eingebaut sein und kann synchron mit dem Bearbeitungskopf 23 oder der Antriebseinheit 24 funktionieren. Die Laserstrahlmaschine 2 kann eine Vielzahl von Bearbeitungsüberwachungseinheiten beinhalten, die die Bearbeitungsüberwachungseinheit 26 beinhalten. Die Bearbeitungsüberwachungseinheit 26 misst einen begrenzten Bereich des Werkstücks 70. Ein Wert, der von der Bearbeitungsüberwachungseinheit 26 erhalten wird, leistet einen relativ großen Beitrag zur Bearbeitungsfehlererkennung und wird daher stärker gewichtet als ein Wert, der von der Zustandsmesseinheit 25 beim Durchlaufen der numerischen Verarbeitung in der Steuerung 3 erhalten wird.

**[0030]** Die Steuerung 3 beinhaltet eine Inferenzeinheit 31, eine Bearbeitungsentscheidungseinheit 32, eine Maschinensicherheitseinheit 33, eine Bestimmungseinheit 34 von Korrekturbearbeitungsbedingungen, die Steuereinheit 35, eine Anzeigeeinheit 36 und eine Eingabeeinheit 37. Zur Bearbeitung steuert die Steuerung 3 die Laserstrahlmaschine 2. Die Inferenzeinheit 31 bestimmt einen Qualitätsgrad der Laserstrahlbearbeitung als Inferenzergebnis. Der Qualitätsgrad wird für jeden Bearbeitungsfehler über mindestens eine Bearbeitungsfehlerart auf Grundlage des Bearbeitungszustandssignals von der Zustandsmesseinheit 25 abgeleitet. Anders ausgedrückt leitet die Inferenzeinheit 31 leitet einen Bearbeitungszustand des Werkstücks 70 ab. Die Inferenzeinheit 31 verwendet beispielsweise maschinelles Lernen, um den Bearbeitungszustand des Werkstücks 70 abzuleiten.

**[0031]** Die Bearbeitungsentscheidungseinheit 32 entscheidet auf Grundlage des Überwachungssignals von der Bearbeitungsüberwachungseinheit 26, ob die mindestens eine Art von Bearbeitungsfehler vorliegt oder nicht, und bestimmt als Entscheidungsergebnis eine Qualität der Laserstrahlbearbeitung. Anders ausgedrückt erkennt die Bearbeitungsentscheidungseinheit 32 eine Bearbeitungsanomalie des Werkstücks 70. In Fällen, in denen der Bearbeitungszustand schlecht ist, erzeugt die Bestimmungseinheit 34 von Korrekturbearbeitungsbedingungen Korrekturgrößen zum Modifizieren einer Bearbeitungsbedingung zu einer ordnungsgemäßen Bearbeitungsbedingung und erzeugt die korrigierte Bearbeitungsbedingung auf Grundlage der Korrekturgrößen. Insbesondere korrigiert die Bestimmungseinheit 34 von Korrekturbearbeitungsbedingungen die Bearbeitungsbedingung auf Grundlage des Inferenzergebnisses, das von der Inferenzeinheit 31 beim Bestimmen der korrigierten Bearbeitungsbedingung erhalten wird. Die Bestimmungseinheit 34 von Korrekturbearbeitungsbedingungen gibt die korrigierte Bearbeitungsbedingung an die Steuereinheit 35 aus.

**[0032]** Die Maschinensicherheitseinheit 33 gibt auf Grundlage des Inferenzergebnisses, das von der Inferenzeinheit 31 erhalten wird, und des Entscheidungsergebnisses, das von der Bearbeitungsentscheidungseinheit 32 erhalten wird, ein Steuersignal an die Steuereinheit 35 aus, das eine Anweisung darüber gibt, ob die Laserstrahlbearbeitung anzuhalten oder fortzusetzen ist. Die Steuereinheit 35 bestimmt Betriebsbefehle für die Antriebseinheit 24 und den Laseroszillator 21 auf Grundlage des Steuersignals und der Bearbeitungsbedingung, die Parameter und numerische Werte für die Laserstrahlbearbeitung spezifiziert. Insbesondere empfängt die Steuereinheit 35 das Steuersignal, das von der Maschinensicherheitseinheit 33 ausgegeben wird, und die korrigierte Bearbeitungsbedingung, die von der Bestimmungseinheit 34 von Korrekturbearbeitungsbedingungen ausgegeben wird.

**[0033]** Die Anzeigeeinheit 36 ist eine Mensch-Maschine-Schnittstelle, die ein Bild zum Empfangen von Eingaben von einem Anwender sowie von intern erzeugten Informationen der Steuerung 3 anzeigt. Unter Verwendung der Anzeigeeinheit 36 kann der Anwender beispielsweise ein Bearbeitungsprogramm spezifizieren und Bearbeitungsbedingungen eingeben. Die Anzeigeeinheit 36 zeigt die Ergebnisse an, die von der Inferenzeinheit 31 und der Bearbeitungsentscheidungseinheit 32 erhalten werden. Die Anzeigeeinheit 36 ist mit einer Anzeige oder einem Monitor umgesetzt. Eine Stelle, an der die Anzeigeeinheit 36 eingebaut ist, ist nicht eingeschränkt. Die Anzeigeeinheit 36 kann in die Steuereinheit 35 oder die Eingabeeinheit 37 integriert sein.

**[0034]** Die Eingabeeinheit 37 nimmt Informationen, die von dem Anwender eingegeben werden, an und gibt die angenommenen Informationen an einen wesentlichen Bestandteil unter der Vielzahl von wesentlichen Bestandteilen der Steuerung 3 aus, der die angenommenen Informationen verarbeitet. Die Eingabeeinheit 37 ist beispielsweise mit einer Tastatur oder einer Maus umgesetzt. Die Eingabeeinheit 37 und die Anzeigeeinheit 36 können integriert sein, um eine Softwaretastatur umzusetzen.

**[0035]** **Fig. 2** ist ein Ablaufdiagramm, das einen Betriebsablauf des Laserbearbeitungssystems 1 gemäß der ersten Ausführungsform veranschaulicht. Zunächst erzeugt das Laserbearbeitungssystem 1 eine Bearbeitungsbedingung für die Bearbeitung (S1) . Insbesondere erzeugt die Bestimmungseinheit 34 von Korrekturbearbeitungsbedingungen der Steuerung 3 die Bearbeitungsbedingung. Die zu erzeugende Bearbeitungsbedingung kann auf Grundlage eines Bearbeitungszustandes, der von der Inferenzeinheit 31 abgeleitet wird, bestimmt werden oder von dem Anwender spezifiziert werden.

**[0036]** Anschließend führt das Laserbearbeitungssystem 1 die Bearbeitung auf Grundlage der Bearbeitungsbedingung durch, die bei Schritt S1 erzeugt wurde. Das Werkstück 70 wird mit einem vom Laseroszillator 21 emittierten Laserstrahl bestrahlt und die Zustandsmesseinheit 25 erkennt den sich ändernden Zustand des Werkstücks 70 und den inneren Zustand des Bearbeitungskopfs 23 (S2). In **Fig. 2** ist der Betrieb gemäß Schritt S2 als „ZUSTANDSSIGNAL MESSEN“ formuliert. Die Bearbeitungsüberwachungseinheit 26 erkennt während der Bearbeitung den sich ändernden Zustand der vorderen Fläche und/oder den sich ändernden Zustand der hinteren Fläche des Werkstücks 70 (S3). In **Fig. 2** ist der Betrieb gemäß Schritt S3 als „ÜBERWACHUNGSSIGNAL MESSEN“ formuliert.

**[0037]** Die Inferenzeinheit 31 extrahiert auf Grundlage eines Erkennungsergebnisses der Zustandsmesseinheit 25 ein Merkmal und bestimmt mit dem Merkmal eine Qualität der Bearbeitung (S4). In **Fig. 2** ist der Betrieb gemäß Schritt S4 als „ZUSTAND BESTIMMEN“ formuliert. Das Merkmal kann ein Wert, der aus einem aufgenommenen Bild eines Schnittabschnitts des Werkstücks 70 extrahiert wurde, oder eine Frequenz sein, bei der das Schallspektrum des Bearbeitungsgases Spitzen aufweist. Jedes Merkmal ist annehmbar, solange das Merkmal zur Bestimmung der Qualität der Bearbeitung verwendbar ist. Die Bearbeitungsentscheidungseinheit 32 erkennt einen Bearbeitungsfehler auf Grundlage eines Erkennungsergebnisses der Bearbeitungsüberwachungseinheit 26 durch eine Entscheidung unter Verwendung eines Schwellenwerts oder eines Bildes (S5). In **Fig. 2** ist der Betrieb gemäß Schritt S5 als „ENTSCHEIDUNG ZU ANOMALIE TREFFEN“ formuliert.

**[0038]** Die Maschinensicherheitseinheit 33 bestimmt auf Grundlage eines Inferenzergebnisses, das von der Inferenzeinheit 31 erhalten wird, und eines Entscheidungsergebnisses, das von der Bearbeitungsentscheidungseinheit 32 erhalten wird, ob die Bearbeitung fortzusetzen ist oder nicht (S6). Die Maschinensicherheitseinheit 33 bestimmt insbesondere, dass die Bearbeitung fortzusetzen ist, wenn das Inferenzergebnis, das von der Inferenzeinheit 31 erhalten wird, eine gute Bearbeitung angibt, wobei das Entscheidungsergebnis, das von der Bearbeitungsentscheidungseinheit 32 erhalten wird, keinen Fehler angibt. Wenn die Bearbeitungsentscheidungseinheit 32 die Anomalie bestimmt, bestimmt die Maschinensicherheitseinheit 33, dass die Bearbeitung zu unterbrechen ist, unabhängig von dem Ergebnis, das von der Inferenzeinheit 31 erhalten wird.

**[0039]** Wenn die Maschinensicherheitseinheit 33 bestimmt, dass die Bearbeitung zu unterbrechen ist (Nein bei S6), gibt die Maschinensicherheitseinheit

33 einen Alarm aus (S7). Das Laserbearbeitungssystem 1 bestimmt, ob der Alarm behoben wurde oder nicht (S8). Wenn das Laserbearbeitungssystem 1 entscheidet, dass der Alarm behoben wurde (Ja bei S8), führt das Laserbearbeitungssystem 1 den Betrieb gemäß Schritt S1 durch. Wenn das Laserbearbeitungssystem 1 entscheidet, dass der Alarm nicht behoben wurde (Nein bei S8), endet der Betrieb des Laserbearbeitungssystems 1.

**[0040]** Wenn die Maschinensicherheitseinheit 33 bestimmt, dass die Bearbeitung fortzusetzen ist (Ja bei S6), das heißt, wenn die Maschinensicherheitseinheit 33 ein Steuersignal für die fortgesetzte Bearbeitung ausgibt, berechnet die Bestimmungseinheit 34 von Korrekturbearbeitungsbedingungen Korrekturgrößen, die für das Entscheidungsergebnis, das von der Inferenzeinheit 31 erhalten wird, geeignet sind (S9). Die Bestimmungseinheit 34 von Korrekturbearbeitungsbedingungen modifiziert die Bearbeitungsbedingung auf Grundlage der Korrekturgrößen und erzeugt somit eine korrigierte Bearbeitungsbedingung (S10). Das Laserbearbeitungssystem 1 führt eine Bearbeitung auf Grundlage der modifizierten Bearbeitungsbedingung durch. Wie vorstehend beschrieben, ist das Laserbearbeitungssystem 1 ein System, das auf Grundlage des Überwachungsergebnisses und des Inferenzergebnisses Bistabilität erreicht.

**[0041]** Nachfolgend ist in dieser Schrift ein Beispiel bereitgestellt, bei dem das Laserbearbeitungssystem 1 das Werkstück 70 schneidet. Es ist zu beachten, dass das Laserbearbeitungssystem 1 eine andere Bearbeitung als Schneiden, wie etwa Bohren, durchführen kann, wenn beispielsweise ein Verfahren zum Auswerten von Bearbeitungsergebnissen zu einem Verfahren verändert wird, das für eine Bearbeitungsart geeignet ist.

**[0042]** Bearbeitungsfehler, die an dem Werkstück 70 auftreten können, lassen sich grob in zwei Kategorien unterteilen: zufällige Bearbeitungsfehler und Bearbeitungsfehler aufgrund von Veränderungen an dem Werkstück 70 oder dem Bearbeitungskopf 23 im Laufe der Zeit. Beispiele für einen Faktor der zufälligen Bearbeitungsfehler beinhalten Verschmutzung und Verbrennung von Glas oder einer Linse, die in einer Vielzahl von wesentlichen Bestandteilen der Laserstrahlmaschine 2 beinhaltet ist, während der Bearbeitung, Beschädigung oder Verformung der Bearbeitungsdüse und dergleichen. Die zufälligen Bearbeitungsfehler sind vor ihrem Auftreten schwer zu erkennen. Ein Bearbeitungsfehler, der aufgrund einer Bearbeitung über einen relativ langen Zeitraum durch Wärmeansammlung in dem Werkstück 70 oder einer inneren optischen Komponente des Bearbeitungskopfes 23 verursacht wird, ist ein Beispiel für den Bearbeitungsfehler aufgrund von Veränderungen im Laufe der Zeit.

**[0043]** Es gibt mehrere Arten von Bearbeitungsfehlern. Insbesondere erscheint ein Fehler, der durch Aushöhlen, Brennen oder Bersten entsteht, auf einer Oberfläche des Werkstücks 70. Ferner ein Fehler, bei dem auf der hinteren Fläche des Werkstücks 70 geschmolzenes Material erzeugt wird. Die Schmelze ist Schlacke. Bearbeitungsfehler, wie etwa ein abgelöster Oxidfilm, ein Bearbeitungsmangel, ein grob geschnittener Abschnitt und ein durch Plasma verursachter Fehler erscheinen nur an Schnittflächen des Werkstücks 70, nicht an der vorderen und hinteren Fläche.

**[0044]** Andere Bearbeitungsfehler als die vorgenannten Bearbeitungsfehler können als zu erkennende Bearbeitungsfehler hinzugefügt werden. Beispielsweise kann eine verfärbte Schnittfläche, die einer Reinheit des Bearbeitungsgases zugeordnet ist, oder ein Bearbeitungsfehler, der der Vibration einer Oberfläche aufgrund mechanischer Vibration der Laserstrahlmaschine 2 zugeordnet ist, hinzugefügt werden. Abhängig von einer Art des Bearbeitungsgases, das zur Bearbeitung verwendet wird, können sich Bearbeitungsfehler, die auftreten, unterscheiden. Beispielsweise wird in Fällen, bei denen Sauerstoffschneiden, das Sauerstoff als Bearbeitungsgas verwendet, durchgeführt wird, ein Oxidfilm auf einer Schnittfläche erzeugt, der zu einem Bearbeitungsfehler in der Form eines abgelösten Oxidfilms führt. In Fällen, bei denen Stickstoffschneiden, das Stickstoff als das Bearbeitungsgas verwendet, durchgeführt wird, wird jedoch kein Oxidfilm auf einer Schnittfläche erzeugt. Der abgelöste Oxidfilm muss in diesem Fall also nicht als Bearbeitungsfehler beinhaltet sein.

**[0045] Fig. 3** veranschaulicht ein Beispiel für eine Oberfläche des Werkstücks 70, auf der eine Aushöhlung aufgetreten ist. Wie in einem Teil 41 veranschaulicht, tritt die Aushöhlung auf, wenn geschmolzenes Metall lokal auf einer Schnittfläche hervortritt. Es kann daher beispielsweise auf Grundlage eines aufgenommenen Bildes der Oberfläche des Werkstücks 70 bestimmt werden, ob ein Aushöhlen aufgetreten ist oder nicht.

**[0046] Fig. 4** veranschaulicht ein Beispiel für eine Schnittfläche des Werkstücks 70 mit erzeugten Bearbeitungsmängeln. Wie in den Teilen 42 veranschaulicht, treten lokal Bearbeitungsfehler auf, die sich von einem oberen Teil zu einem unteren Teil der Schnittfläche erstrecken. Ob der Bearbeitungsfehler aufgetreten ist oder nicht, kann daher beispielsweise auf Grundlage von Helligkeitsunterschieden zwischen Pixeln eines aufgenommenen Bildes der Schnittfläche bestimmt werden. Die Bearbeitungsfehler, die die Bearbeitungsüberwachungseinheit 26 messen kann, treten an der vorderen oder hinteren Fläche des Werkstücks 70 auf und sobald ein solcher Bear-

beitungsfehler auftritt, ist eine sofortige Modifikation der Bearbeitungsbedingung erforderlich.

**[0047]** Die Inferenzeinheit 31 analysiert ein Zeitreihensignal numerische Informationen, die von der Zustandsmesseinheit 25 erhalten werden, bestimmt ein Merkmal, das einen Bearbeitungszustand darstellt, leitet einen Bearbeitungsqualitätsgrad oder eine Art von Bearbeitungsfehler ab und gibt ein Inferenzergebnis aus. Ein Verfahren, das die Inferenzeinheit 31 zum Bestimmen der Qualität ausführt, ist beispielsweise ein Verfahren zum Bestimmen der Qualität der Bearbeitung auf Grundlage dessen, was im Voraus durch maschinelles Lernen gelernt wurde, was als überwachtes Lernen bezeichnet wird. Die Art des Bearbeitungsfehlers, den die Inferenzeinheit 31 ausgibt, bezieht sich beispielsweise auf Aushöhlen, Verbrennen, Schlacke, einen abgelösten Oxidfilm, einen Grat, eine raue obere Fläche, Oberflächenrauheit, Plasma oder Bersten.

**[0048]** Ein von der Inferenzeinheit 31 ausgegebenes Ergebnis, das die Qualität angibt, kann ein Wert sein, der als Ergebnis nur eine hohe Güte oder schlechte Güte angibt, ein Bewertungswert, der einen Grad einer hohen Güte oder schlechten Güte angibt, oder Informationen, die eine Wahrscheinlichkeit von hoher Güte oder schlechter Güte angeben. Beispielsweise kann die Inferenzeinheit 31 Informationen ausgeben, die angeben, dass die Wahrscheinlichkeit von hoher Güte 75 % beträgt. In Fällen, in denen die Inferenzeinheit 31 aus einer Vielzahl von Fehlern ein Ergebnis zu einem einzelnen Bearbeitungsfehler ausgibt, kann die Inferenzeinheit 31 für den Bearbeitungsfehler, der aufgetreten ist, einen beliebigen Bewertungswert in einem Bereich von 0 bis 1 oder einen von mindestens drei Bewertungswerten, wie etwa 0, 0,5 und 1, ausgeben, wobei 0 und 1 ein unterer beziehungsweise ein oberer Bewertungswert sind und als schlecht beziehungsweise gut definiert sind.

**[0049]** In Fällen, in denen die Inferenzeinheit 31 ein Ergebnis zu einer Vielzahl von Bearbeitungsfehlern ausgibt, kann die Inferenzeinheit 31 für jeden der Fehler einen beliebigen Bewertungswert im Bereich von 0 bis 1 oder einen von mindestens drei Bewertungswerten, wie etwa 0, 0,5 und 1, ausgeben. Die Inferenzeinheit 31 kann den Qualitätsgrad der Bearbeitung oder die Art des Bearbeitungsfehlers auf Grundlage einer Summe der Auswertungswerte für die Bearbeitungsfehler bestimmen. Alternativ kann die Inferenzeinheit 31 entscheiden, dass ein Ergebnis zu der Qualität eines Schnittabschnitts eine schlechte Güte angibt, selbst wenn nur ein Bearbeitungsfehler vorliegt.

**[0050]** Abhängig von dem Anwender kann ein Kriterium darüber, ob die Bearbeitung gut oder schlecht ist, unterschiedlich sein. Die Inferenzeinheit 31 kann auf Grundlage eines vom Anwender bestimmten Schwellenwertes entscheiden, ob der Bewertungswert für den Bearbeitungsfehler hohe Güte angibt oder nicht.

**[0051]** Beispiele für das Merkmal, das die Inferenzeinheit 31 bei der Entscheidung verwendet, beinhalten einen Mittelwert und eine Standardabweichung eines Zeitreihensignals, das von der Zustandsmesseinheit 25 erhalten wird. Die Inferenzeinheit 31 wandelt das Merkmal in Sätze um, die dem Merkmal entsprechen, und wertet auf Grundlage einer Differenz jedes der Sätze von einem Referenzwert einen Grad der schlechten Güte eines Fehlers in jedem Bearbeitungssegment aus. Ein Verfahren zum Bestimmen des Merkmals wird entsprechend einer Ausgestaltung oder einer Art der Zustandsmesseinheit 25 verändert.

**[0052]** Es gibt mehrere Verfahren zum Bestimmen des Merkmals. Das Merkmal kann beispielsweise ein Satz von Werten sein, der durch statistische Analyse oder Frequenzanalyse eines Zeitreihensignals, das von der Zustandsmesseinheit 25 erhalten wird, oder durch Analyse des Zeitreihensignals, die ein Umwandlungsverfahren, wie etwa eine Filterbankanalyse, verwendet, erhalten wird. Das Merkmal kann mit einem allgemeinen Analyseverfahren für Zeitreihensignale bestimmt werden.

**[0053]** Die Inferenzeinheit 31 kann, für das Merkmal, das durch Analysieren des Zeitreihensignals von der Zustandsmesseinheit 25 erhalten wird, ein Verfahren, das einen Klassifikator, wie etwa lineare Diskriminierung, logistische Regression, eine Stützvektormaschine, eine Relevanzvektormaschine oder einen Entscheidungsbaum verwendet, und ein Regressionsverfahren, wie etwa lineare Regression, polynomische Regression, Bayessche lineare Regression oder Gauß-Prozess-Regression, verwenden. Zur Auswertung des Bearbeitungszustandes kann eine Clustering-Technik unter Verwendung eines k-means-Algorithmus, Gaußsche Mischverteilungen oder Bernoulli-Mischverteilungen verwendet werden.

**[0054]** Die Inferenzeinheit 31 kann einen anderen Algorithmus als die vorgenannten Algorithmen verwenden. Der Algorithmus, der sich von den Vorstehenden unterscheidet, kann Deep Learning verwenden, das ein Merkmal selbst extrahiert und lernt, wie etwa ein neuronales Netz, ein neuronales Faltungsnetz oder ein rekurrentes neuronales Netz, das als eine typische Technik angegeben ist, oder er kann eine Technik verwenden, die mehrere von allen vorgenannten Algorithmen kombiniert.

**[0055]** **Fig. 5** ist eine Darstellung, die ein Beispiel für ein Modell des maschinellen Lernens veranschaulicht, das in Fällen zu verwenden ist, in denen die

Inferenzeinheit 31 des Laserbearbeitungssystems 1 gemäß der ersten Ausführungsform maschinelles Lernen beim Durchführen der Entscheidungsbearbeitung verwendet. In dem in **Fig. 5** veranschaulichten Beispiel wird ein neuronales Netz als maschinelles Lernen angewendet. Das in **Fig. 5** veranschaulichte neuronale Netz ist ein dreischichtiges neuronales Netz, das Knoten X1, X2 und X3 als Eingabeschicht, Knoten Y1 und Y2 als Zwischenschicht und Knoten Z1, Z2 und Z3 als Ausgabeschicht beinhaltet.

**[0056]** Die Eingaben in jeden der Knoten der Eingabeschicht können aktuelle Werte des Elektromotors, ein Bearbeitungssignal, das die Amplitude oder die Intensität von während der Bearbeitung erzeugtem Streulicht angibt, oder ein extrahiertes Merkmal sein. In Fällen, in denen Bearbeitungssignale in die Knoten der Eingabeschicht eingegeben werden, erfolgt die Merkmalsextraktion durch maschinelles Lernen. In Fällen, in denen extrahierte Merkmale in die Knoten der Eingabeschicht eingegeben werden, werden die Merkmale aus einem oder mehreren Signalen, die von der Zustandsmesseinheit 25 gemessen werden, extrahiert und in die Eingabeschicht eingegeben.

**[0057]** **Fig. 6** ist eine Darstellung, die ein Beispiel für eine Ausgestaltung der Inferenzeinheit 31 in dem Laserbearbeitungssystem 1 gemäß der ersten Ausführungsform veranschaulicht. Beim Ableiten des Zustands des Werkstücks 70 verwendet die Inferenzeinheit 31 beispielsweise ein von einem Hersteller erstelltes Lernmodell. Es gibt jedoch Fälle, in denen eine Produktionssituation vorliegt, in der der Anwender verschiedene Bearbeitungsmaterialien, wie etwa ein Elektroofenmaterial und ein Material von schlechter Qualität bearbeiten muss, sodass das vorab gelernte Modell aktualisiert werden muss.

**[0058]** Beim Aktualisieren des Modells ist das Zuordnen eines Signals, das von der Zustandsmesseinheit 25 ausgegeben wird, zu einem Bearbeitungsergebnis des Werkstücks 70 eine Aufgabe, die in einer Anwenderumgebung ausgeführt werden muss. Die Zuordnung des Signals von der Zustandsmesseinheit 25 zum Bearbeitungsergebnis kann ein Ergebnis einer visuellen Überprüfung, einer Fotoentscheidung oder einer Oberflächenrauhigkeitsmessung widerspiegeln. Ein neues hinzuzufügendes Modell kann ein Klassifikationsmodell sein, das Erfolg von Misserfolg trennt, oder ein Regressionsmodell, bei dem der Erfolg 1 ist, während der Misserfolg 0 ist. Die Bearbeitungsbedingung kann zu Eingaben in das Modell addiert werden, damit ein Modell erlernt wird, das zu einer genaueren Bestimmung fähig ist.

**[0059]** Die in **Fig. 6** veranschaulichte Inferenzeinheit 31 beinhaltet eine Lerneinheit 44. Die Lerneinheit 44 beinhaltet eine Datenerfassungseinheit 45, die Trainingsdaten erhält, die ein Bearbeitungszustandssignal , das von der Zustandsmesseinheit 25 ausgegeben wird, und Lehrer-Kennzeichnungen, die angeben, dass das Werkstück 70 gut und schlecht ist, beinhalten; und eine Modellerzeugungseinheit 46, die die Trainingsdaten, die von der Datenerfassungseinheit 45 erhalten werden, beim Erzeugen eines erlernten Modells verwendet, das einen Qualitätsgrad der Laserstrahlbearbeitung ableitet. Die in **Fig. 6** veranschaulichte Inferenzeinheit 31 beinhaltet ferner eine Speichereinheit 47 für gelernte Modelle, die das gelernte Modell speichert, das von der Modellerzeugungseinheit 46 erzeugt wurde. Die Speichereinheit 47 für gelernte Modelle ist beispielsweise mit einem Halbleiterspeicher umgesetzt.

**[0060]** Die Bearbeitungsentscheidungseinheit 32 analysiert ein Zeitreihensignal oder ein Bild, das von der Bearbeitungsüberwachungseinheit 26 erhalten wird, erkennt Anomalien an der vorderen und hinteren Fläche des Werkstücks 70 und gibt Informationen aus, die die Anomalien angeben. **Fig. 7** ist eine Darstellung, die ein Beispiel für eine Entscheidungsverarbeitung veranschaulicht, die die Bearbeitungsentscheidungseinheit 32 des Laserbearbeitungssystems 1 gemäß der ersten Ausführungsform unter Verwendung einer Signalverarbeitung durchführt. In **Fig. 7** stellt eine horizontale Achse die Zeit dar und eine vertikale Achse stellt die Ausgangsspannung dar, bei der es sich um einen Spannungswert handelt, der aus während der Bearbeitung erzeugtem Streulicht umgewandelt wird.

**[0061]** Ein Spannungssignal 49 stellt die Ausgangsspannung dar, die von der Bearbeitungsüberwachungseinheit 26 während einer Bearbeitung erkannt wird. Beispielsweise entscheidet die Bearbeitungsüberwachungseinheit 26, dass ein Bearbeitungsfehler aufgetreten ist, wenn die Ausgangsspannung einen Schwellenwert für einen festgelegten Zeitraum überschritten hat. In dem in **Fig. 7** veranschaulichten Beispiel überschreitet das Spannungssignal 49 den Schwellwert zum Zeitpunkt t1, ist jedoch zum Zeitpunkt t2 kleiner oder gleich dem Schwellwert. Wenn der Schwellenwert nur zeitweise überschritten wurde, wie vorstehend beschrieben, entscheidet die Bearbeitungsüberwachungseinheit 26 nicht, dass der Bearbeitungsfehler aufgetreten ist. Das Spannungssignal 49 überschreitet den Schwellenwert zum Zeitpunkt t3 erneut. Die Bearbeitungsüberwachungseinheit 26 entscheidet nur dann, dass der Bearbeitungsfehler aufgetreten ist, wenn das Spannungssignal 49 den Schwellenwert für eine Zeitdauer zwischen dem Zeitpunkt t3 und dem Zeitpunkt t4 überschritten hat, die länger als ein festgelegter Zeitraum ist. **Fig. 7** dient nur zur Veranschaulichung. Als Grundlage für die Berechnung eines Bewertungswertes kann eine Vielzahl von Schwellenwerten eingestellt werden. Ein Kriterium, ob die Bearbeitung gut

oder schlecht ist, ist von dem Anwender abhängig, der das Laserbearbeitungssystem 1 verwendet. Der Schwellenwert kann vom Anwender bestimmt werden.

**[0062]** Beispiele für eine Art von Bearbeitungsfehler, die die Bearbeitungsentscheidungseinheit 32 ausgibt, beinhalten Aushöhlen, Verbrennen, Schlacke, Plasma und Bersten. Da Aushöhlen, Verbrennen, Bersten und Schlacke bewirken können, dass der Bearbeitungskopf 23 beschädigt wird, muss das Laserbearbeitungssystem 1 so schnell wie möglich angehalten werden. Die Bearbeitungsentscheidungseinheit 32 muss daher einen solchen Bearbeitungsfehler erkennen und zuverlässig darüber entscheiden. Die Bearbeitungsentscheidungseinheit 32 verwendet ein Erkennungsverfahren oder eine Bildverarbeitung, die kein maschinelles Lernen nutzt, um eine Ausgabe bereitzustellen, die die Qualität der Bearbeitung oder die Art des Bearbeitungsfehlers angibt.

**[0063]** Beispiele für das Erkennungsverfahren, das die Bearbeitungsentscheidungseinheit 32 zum Treffen einer Entscheidung verwendet, beinhalten ein Entscheidungsverfahren, das einen Schwellenwert für ein Zeitreihensignal, das von der Bearbeitungsüberwachungseinheit 26 erhalten wird, verwendet, und ein Entscheidungsverfahren, das eine Zeitdauer des Zeitreihensignals verwendet. Der Schwellenwert und die Zeitdauer können als numerische Werte für jeden Fehler geführt oder für alle Fehler gemeinsam verwendet werden. Ein anderes Erkennungsverfahren als das Vorstehende ist ein Verfahren zum Entscheiden über das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein von geschmolzenem Material durch Bilderkennung unter Verwendung einer Kamera oder durch die Verwendung eines Kontaktsensors. Es kann ein Verfahren zum Erkennen von geschmolzenem Material oder Hervortreten durch LiDAR-basierte optische Strahlabtastung durchgeführt werden. Es kann ein Verfahren zum Messen einer Oberflächenform des Werkstücks 70 mit einem Bildgebungssensor durchgeführt werden. Es kann ein Verfahren zur kontinuierlichen Messung einer Temperaturrestzeit mit einem Strahlungsthermometer durchgeführt werden. In Fällen, in denen eine Vielzahl von Sensoren verwendet wird, kann eine Vielzahl von Entscheidungsergebnissen verwendet werden.

**[0064]** Die Maschinensicherheitseinheit 33 gibt auf Grundlage sowohl eines Inferenzergebnisses, das von der Inferenzeinheit 31 ausgegeben wird, als auch eines Entscheidungsergebnisses, das von der Bearbeitungsentscheidungseinheit 32 ausgegeben wird, Informationen an die Steuereinheit 35 aus, die angeben, ob die Bearbeitung anzuhalten oder fortzusetzen ist. Die Maschinensicherheitseinheit 33 gibt auf Grundlage einer Entscheidung, die von der Bearbeitungsentscheidungseinheit 32 getroffen wurde, ein Steuersignal aus. In Fällen, in denen die Entscheidung, die von der Bearbeitungsentscheidungseinheit 32 getroffen wurde, eine Entscheidung ist, die einen Fehler angibt, gibt die Maschinensicherheitseinheit 33 das entsprechende Steuersignal unabhängig von dem Inferenzergebnis, das von der Inferenzeinheit 31 erhalten wird, an die Steuereinheit 35 aus.

**[0065]** Insbesondere bestimmt die Maschinensicherheitseinheit 33 einen Haltebefehl zum Anhalten der Bearbeitung, wenn die Maschinensicherheitseinheit 33 anhand eines Entscheidungsergebnisses zu mindestens einer Art von Bearbeitungsfehler einen Bearbeitungsfehler bestimmt. Wenn eine Entscheidung, die von der Bearbeitungsentscheidungseinheit 32 getroffen wurde, jedoch eine Entscheidung ist, die keinen Fehler angibt, während ein Inferenzergebnis, das von der Inferenzeinheit 31 erhalten wird, einen Fehler angibt, kann die Maschinensicherheitseinheit 33 die Bearbeitungsentscheidungseinheit 32 auffordern, eine neue Entscheidung zu treffen, oder bei der Bearbeitungsentscheidungseinheit 32 anfordern, einen Entscheidungszyklus zu verändern.

**[0066]** Die Maschinensicherheitseinheit 33 kann eine Tabelle von Kombinationen von Inferenzergebnissen, die von der Inferenzeinheit 31 erhalten werden, und von Entscheidungsergebnissen, die von der Bearbeitungsentscheidungseinheit 32 erhalten werden, aufweisen oder eine Ablaufsteuerung durchführen. In Fällen, in denen ein Inferenzergebnis zu mindestens einer Art von Bearbeitungsfehler angibt, dass der Qualitätsgrad verglichen mit einem vorbestimmten Kriterium schlecht ist, bestimmt die Maschinensicherheitseinheit 33 einen Überwachungsbefehl, der ein Befehl zum Anweisen der Bearbeitungsentscheidungseinheit 32 ist, ein Entscheidungsergebnis zu bestimmen.

**[0067]** Das Steuersignal, das die Maschinensicherheitseinheit 33 ausgibt, kann ein Signal sein, das Energie zu einem Elektromotor unterbricht, der eine Welle der Antriebseinheit 24 bewegt, um die Welle anzuhalten, oder ein Signal sein, das die Strahloszillation des Laseroszillators 21 anhält. Das Signal zu der Antriebseinheit 24 kann entsprechend dem erzeugten Bearbeitungsfehler unter einer Steuerbefehlskategorie, wie etwa einer Halt-Kategorie 0 oder Halt-Kategorie 1, klassifiziert werden. Halt-Kategorie 0 bezeichnet einen unkontrollierten Halt, und Halt-Kategorie 1 bezeichnet einen kontrollierten Halt. Die Maschinensicherheitseinheit 33 kann Nothaltinformationen oder Alarminformationen ausgeben. Die Nothaltinformationen oder die Alarminformationen sind wünschenswerterweise Informationen, die den Anwender auffordern, das Laserbearbeitungssystem 1 zu unterbrechen und eine Situation zu überprüfen. Die Maschinensicherheitseinheit 33 kann die Bearbeitungsentscheidungseinheit 32 auffordern, eine

neue Entscheidung zu treffen oder sie kann den Entscheidungszyklus der Bearbeitungsentscheidungseinheit 32 verändern.

**[0068]** In Fällen, in denen, wie vorstehend beschrieben, ein Inferenzergebnis zu mindestens einer Art von Bearbeitungsfehler angibt, dass der Qualitätsgrad verglichen mit einem vorbestimmten Kriterium schlecht ist, kann die Maschinensicherheitseinheit 33 einen Befehl zur zyklischen Modulation bestimmen, der ein Befehl zum Anweisen der Bearbeitungsentscheidungseinheit 32 ist, den Entscheidungszyklus zu einem kürzeren Zyklus zu verändern. Der Entscheidungszyklus ist ein Zeitintervall für ein zu bestimmendes Entscheidungsergebnis. Der kürzere Entscheidungszyklus ermöglicht der Bearbeitungsentscheidungseinheit 32, ihre Entscheidungsgenauigkeit zu verbessern.

**[0069]** Die Maschinensicherheitseinheit 33 kann mit einer entfernten Sicherheitseingabe-/Sicherheitsausgabevorrichtung (Sicherheits-E/A-Vorrichtung), einer Sicherheitsrelaisschaltung oder einer programmierbaren Sicherheitslogiksteuerung umgesetzt sein. Die Maschinensicherheitseinheit 33 kann mit einer numerischen Steuerung, die über eine Sicherheitsfunktion verfügt, umgesetzt sein.

**[0070]** Die Steuerung 3 kann eine Vielzahl von Maschinensicherheitseinheiten beinhalten, die die Maschinensicherheitseinheit 33 beinhalten. Die Maschinensicherheitseinheit 33 muss unter Verwendung von Steuersignalen fortwährend mit der Steuereinheit 35 kommunizieren. Eine Stelle, an der die Maschinensicherheitseinheit 33 eingebaut ist, ist nicht beschränkt. Die Maschinensicherheitseinheit 33 kann in dem Laseroszillator 21 eingebaut sein.

**[0071]** Die Bestimmungseinheit 34 von Korrekturbearbeitungsbedingungen bestimmt Korrekturgrößen auf Grundlage eines Inferenzergebnisses zu einem Bearbeitungszustand, der von der Inferenzeinheit 31 erhalten wird, um eine Bearbeitungsbedingung zu korrigieren, bestimmt eine korrigierte Bearbeitungsbedingung auf Grundlage der Korrekturgrößen und gibt die korrigierte Bearbeitungsbedingung an die Steuereinheit 35 aus. Auf Grundlage eines schlechten Zustandes, der als Ausgabe von der Inferenzeinheit 31 angegeben wird, kann die Bestimmungseinheit 34 von Korrekturbearbeitungsbedingungen Bearbeitungsparameter und Korrekturgrößen bestimmen, sodass die schlechte Güte beseitigt wird. Wenn sich eine gute Bearbeitung in der Ausführung befindet, kann die Bestimmungseinheit 34 von Korrekturbearbeitungsbedingungen Bearbeitungsparameter und Korrekturgrößen bestimmen, die die gute Bearbeitung aufrechterhalten.

**[0072]** Wenn Bearbeitungsfehler beseitigt werden, erstellt die Bestimmungseinheit 34 von Korrekturbearbeitungsbedingungen Sätze der abgeleiteten Bearbeitungsfehler, Prioritätsgrade bei der Beseitigung der abgeleiteten Bearbeitungsfehler und Bearbeitungsparameter, die die Bearbeitungsfehler beseitigen, und hält die Sätze als Fehlervermeidungsdaten vor. Die Bestimmungseinheit 34 von Korrekturbearbeitungsbedingungen kann Bearbeitungsparameter und Korrekturgrößen, die Bearbeitungsfehler beseitigen, als regelbasierte Tabelle vorhalten und die Tabelle verwenden.

**[0073]** Insbesondere kann die Bestimmungseinheit 34 von Korrekturbearbeitungsbedingungen Datensätze vorhalten, die die Arten von Bearbeitungsfehlern, Korrekturparameter und einen Prioritätsgrad für jeden der Korrekturparameter als die Fehlervermeidungsdaten beinhalten, eine korrigierte Bearbeitungsbedingung auf Grundlage eines Inferenzergebnisses und der Fehlervermeidungsdaten bestimmen und die korrigierte Bearbeitungsbedingung weiter korrigieren, wenn ein Inferenzergebnis zur Bearbeitung unter Verwendung der korrigierten Bearbeitungsbedingung eine schlechte Güte verglichen mit einem vorbestimmten Kriterium angibt. Die Korrekturparameter sind Parameter von Bearbeitungsbedingungen, die zum Vermeiden von Bearbeitungsfehlern zu korrigieren sind, wenn Bearbeitungsfehler auftreten. In diesem Fall ist das Laserbearbeitungssystem 1 fähig, eine Bearbeitungsbedingung derart zu modifizieren, dass die Beseitigung eines Bearbeitungsfehlers, der die Unterbrechung der Laserstrahlmaschine 2 stark beeinflusst, priorisiert wird.

**[0074]** In Fällen, in denen mehrere Bearbeitungsfehler gleichzeitig auftreten, können, wenn gemeinsame Bearbeitungsparameter vorliegen, die zur Beseitigung der mehreren Bearbeitungsfehler beitragen, nur Werte der gemeinsamen Bearbeitungsparameter verändert werden. Unabhängig von Bearbeitungsfehlern kann ein physikalisches Modell beim Korrigieren einer Bearbeitungsbedingung verwendet werden. Beispielsweise kann ein thermischer Linseneffekt in einer Korrekturformel verwendet werden, weil es ein Modell für die Zeit und den Fokusverschiebungsbetrag gibt. Der thermische Linseneffekt ist ein Linseneffekt, der entsteht, wenn eine mit einem Laserstrahl bestrahlte optische Komponente erwärmt wird, sodass sie eine veränderte Dichte und einen veränderten Brechungsindex an ihrem erwärmten Abschnitt aufweist und somit eine Brechungsindexdifferenz zwischen zwei Teilen verursacht. In Fällen, in denen ein neuer Bearbeitungsfehler hinzugefügt wird, kann eine Regelbasis, die dem hinzugefügten Bearbeitungsfehler entspricht, hinzugefügt werden.

**[0075]** Auf Grundlage eines Inferenzergebnisses zu einem Bearbeitungszustand, der von der Inferenzeinheit 31 erhalten wird, gibt die Bestimmungseinheit 34 von Korrekturbearbeitungsbedingungen wünschenswerterweise eine korrigierte Bearbeitungsbedingung aus, die auf ordnungsgemäßen Korrekturgrößen für eine Bearbeitungsbedingung basiert. Die Bearbeitungsbedingungen können auf Grundlage eines oder mehrerer vorbestimmter fester Werte korrigiert werden. Beispielsweise kann in Fällen, in denen die Laserausgangsleistung eingestellt werden soll, die Laserausgangsleistung um 100 Watt ansteigen oder abnehmen, wenn ein fester Wert auf 100 Watt eingestellt ist, oder um 5 Prozent ansteigen oder abnehmen, wenn der feste Wert als Prozentsatz eingestellt ist. Der feste Wert kann für jeden der Bearbeitungsparameter eingestellt werden. Der feste Wert kann von dem Anwender spezifiziert werden.

**[0076]** Die Parameter, die die Bestimmungseinheit 34 von Korrekturbearbeitungsbedingungen verändert, beinhalten einen Teil oder die Gesamtheit der Laserausgangsleistung, des Bearbeitungsgasdrucks, der Bearbeitungsgeschwindigkeit, der Fokuslage, des Durchmessers des fokussierten Strahls, der Pulsfrequenz des Lasers, eines Tastverhältnisses eines Pulses, einer Vergrößerung eines optischen Zoomsystems innerhalb des Bearbeitungskopfes 23, einer Krümmungsänderung einer adaptiven Optik (A/O), einer Düsenart, eines Durchmessers der Düse, eines Abstands zwischen dem Werkstück 70 und der Düse, eines Abstands in einem Laserstrahlmodus und einem Ein-/Ausschalten der Bearbeitungssteuerung.

**[0077]** Die Bestimmungseinheit 34 von Korrekturbearbeitungsbedingungen kann Bearbeitungsparameter auswählen, die in einer Bearbeitungsbedingung eingestellt sind und als eine korrigierte Bearbeitungsbedingung auszugeben sind.

**[0078]** Während der normalen Bearbeitung steuert die Steuereinheit 35 mit wesentlichen Bestandteilen, die nicht veranschaulicht sind, den Laseroszillator 21 und den Elektromotor der Antriebseinheit 24, sodass beispielsweise ein Laserstrahl eine Bearbeitungsbahn auf dem Werkstück 70 gemäß dem Bearbeitungsprogramm und einer eingestellten Bearbeitungsbedingung abtastet. Die Steuereinheit 35 steuert den Laseroszillator 21 und die Antriebseinheit 24 auf Grundlage des Steuersignals, das von der Maschinensicherheitseinheit 33 ausgegeben wird. Wenn die Bearbeitungsbedingung verändert wurde, führt die Steuereinheit 35 eine Steuerung auf Grundlage der korrigierten Bearbeitungsbedingung durch, die von der Bestimmungseinheit 34 von Korrekturbearbeitungsbedingungen ausgegeben wird.

**[0079]** Wie vorstehend beschrieben, führt das Laserbearbeitungssystem 1 gemäß der ersten Ausführungsform eine Bearbeitung durch, leitet einen Zustand eines Werkstücks mit einem Bearbeitungssignal ab, das während der Bearbeitung erhalten wird und trifft eine Entscheidung zu einer Anomalie mit einem Bearbeitungssignal, das während der Bearbeitung erhalten wird. Das Laserbearbeitungssystem 1 verwendet ein Inferenzergebnis und ein Überwachungsergebnis, um zu bestimmen, ob die Bearbeitung fortgesetzt oder angehalten werden soll, und korrigiert eine Bearbeitungsbedingung. Daher ist das Laserbearbeitungssystem 1 zu einer fortgesetzten Bearbeitung mit der Bedingung fähig, die für die Fertigung geeignet ist, während es gleichzeitig die Sicherheit sicherstellt.

Zweite Ausführungsform.

**[0080]** **Fig. 8** ist eine Darstellung, die eine Ausgestaltung eines Laserbearbeitungssystems 1A gemäß einer zweiten Ausführungsform veranschaulicht. Das Laserbearbeitungssystem 1A beinhaltet die Laserstrahlmaschine 2, die das Laserbearbeitungssystem 1 gemäß der ersten Ausführungsform aufweist, und eine Steuerung 3A, die die Laserstrahlmaschine 2 steuert. In der zweiten Ausführungsform wird eine Beschreibung bereitgestellt, die im Wesentlichen Unterschiede zu der ersten Ausführungsform betrifft. Die Steuerung 3A beinhaltet die Inferenzeinheit 31, die Bearbeitungsentscheidungseinheit 32, die Maschinensicherheitseinheit 33, eine Bestimmungseinheit 34A von Korrekturbearbeitungsbedingungen, die Steuereinheit 35, die Anzeigeeinheit 36, die Eingabeeinheit 37 und eine Begrenzungseinheit 38A. Die Bestimmungseinheit 34A von Korrekturbearbeitungsbedingungen verfügt über die Funktionen der Bestimmungseinheit 34 von Korrekturbearbeitungsbedingungen gemäß der ersten Ausführungsform.

**[0081]** Als Nächstes ist eine Beschreibung, darüber, wie das Laserbearbeitungssystem 1A funktioniert, bereitgestellt. Wenn eine Bearbeitung beginnt, funktionieren die Zustandsmesseinheit 25 und die Bearbeitungsüberwachungseinheit 26 wie in der ersten Ausführungsform. Die Inferenzeinheit 31 leitet auf Grundlage von Informationen, die von der Zustandsmesseinheit 25 erhalten werden, einen Zustand des Werkstücks 70 ab. Die Bearbeitungsentscheidungseinheit 32 trifft auf Grundlage von Informationen, die von der Bearbeitungsüberwachungseinheit 26 erhalten werden, Entscheidungen zu Anomalien, die an der vorderen und hinteren Fläche des Werkstücks 70 auftreten.

**[0082]** Die Begrenzungseinheit 38A speichert Bearbeitungstoleranzen und stellt auf Grundlage der Bearbeitungstoleranzen Begrenzungsbereiche zum Modifizieren von Bearbeitungsbedingungen in

begrenztem Umfang ein. Die Bearbeitungstoleranz ist ein Bereich von Bearbeitungsbedingungen, der eine gute Bearbeitung bereitstellt. Der Bereich der guten Bearbeitungsbedingungen, der als die Bearbeitungstoleranz angegeben ist, ist ein Bereich, der zusätzlich zu den eigentlichen Bearbeitungsergebnissen auch die Stabilität der Maschine und den Einfluss auf die Bearbeitung, der durch Montagefehler bei einem Fertigungsablauf verursacht wird, berücksichtigt hat.

**[0083]** **Fig. 9** ist eine Darstellung, die eine Bearbeitungstoleranz veranschaulicht. Die in **Fig. 9** veranschaulichte Bearbeitungstoleranz ist durch einen Parameter A und einen Parameter B gekennzeichnet. In **Fig. 9** stellen O-Markierungen Bearbeitungsbedingungen dar, die eine gute Bearbeitung bereitgestellt haben, und stellen X-Markierungen Bearbeitungsbedingungen dar, die eine schlechte Bearbeitung bereitgestellt haben. Eine Dreiecksmarkierung stellt eine als Standardbearbeitungsbedingung im Laserbearbeitungssystem 1A eingestellte Bearbeitungsbedingung dar. Eine Grenze 50 stellt eine Grenze zwischen Fällen dar, in denen Bearbeitungsergebnisse gut sind, und Fällen, in denen Bearbeitungsergebnisse in einem durch die Parameter A und B definierten zweidimensionalen Bereich schlecht sind. Ein Bereich 60 stellt einen Begrenzungsbereich dar, der durch die Begrenzungseinheit 38A eingestellt wird und die Bearbeitungstoleranz widerspiegelt.

**[0084]** Ein Bereich von a1 bis a2 für den Parameter A und ein Bereich von b1 bis b2 für den Parameter B werden als der Begrenzungsbereich eingestellt. a2 ist größer als a1 und b2 ist größer als b1. Der Begrenzungsbereich ist breiter als ein Wert des kumulativen Einflusses auf die Bearbeitung. Wenn beispielsweise in Fällen, bei denen ein sich änderndes thermisches Linsenphänomen während der Bearbeitung mit dem Parameter A, der ein Brennpunkt ist, gesteuert wird, sollte a2 minus a1 mindestens 2 Millimeter betragen, wenn der Brennpunkt aufgrund einer thermischen Linse über 2 Millimeter variiert. Der Parameter B kann auf einer ähnlichen Grundlage eingestellt werden oder als Prozentsatz definiert werden, wie etwa als Sicherheitsfaktor.

**[0085]** Wenn ein Anwender eine Bearbeitungstoleranz für ein zu verwendendes Material hat, so kann der Anwender diese Bearbeitungstoleranz mit der Eingabeeinheit 37 in das Laserbearbeitungssystem 1A eingeben. In diesem Fall wird ein Begrenzungsbereich neu eingestellt. Die Bestimmungseinheit 34A von Korrekturbearbeitungsbedingungen gibt eine korrigierte Bearbeitungsbedingung an die Begrenzungseinheit 38A aus.

**[0086]** Wenn die korrigierte Bearbeitungsbedingung eine Bedingung innerhalb des Begrenzungsbereiches der Begrenzungseinheit 38A ist, verwendet die Steuereinheit 35 die Bearbeitungsbedingung, die von der Bestimmungseinheit 34A von Korrekturbearbeitungsbedingungen ausgegeben wird, und das Laserbearbeitungssystem 1A setzt die Bearbeitung fort. Wenn die korrigierte Bearbeitungsbedingung außerhalb des Begrenzungsbereichs liegt, kann das Laserbearbeitungssystem 1A die Bearbeitung anhalten und den Anwender über Alarminformationen benachrichtigen. Das Laserbearbeitungssystem 1A benachrichtigt den Anwender beispielsweise per E-Mail über die Alarminformationen. Der Begrenzungsbereich kann für jeden der Parameter eingestellt werden oder kann nur für einen Parameter oder mehrere Parameter eingestellt werden, den/die der Anwender optimieren möchte. Mit der Begrenzungseinheit 38A ist das Laserbearbeitungssystem 1A fähig, Bearbeitungsfehler, die durch korrigierte Bearbeitungsbedingungen verursacht werden können, zu reduzieren oder zu verhindern.

**[0087]** **Fig. 10** ist ein Ablaufdiagramm, das einen Betriebsablauf des Laserbearbeitungssystems 1A gemäß der zweiten Ausführungsform veranschaulicht. Das Laserbearbeitungssystem 1A erzeugt eine Bearbeitungsbedingung für die Bearbeitung wie in der ersten Ausführungsform (S11). Die Bearbeitungsbedingung kann durch die Bestimmungseinheit 34A von Korrekturbearbeitungsbedingungen der Steuerung 3A erzeugt werden. Die zu erzeugende Bearbeitungsbedingung kann auf Grundlage eines Inferenzergebnisses zu einem Bearbeitungszustand, das von der Inferenzeinheit 31 erhalten wird, bestimmt werden. Die zu erzeugende Bearbeitungsbedingung kann vom Anwender spezifiziert werden. Die zu erzeugende Bearbeitungsbedingung muss eine Bedingung innerhalb eines Begrenzungsbereichs sein, der durch die Begrenzungseinheit 38A eingestellt wird.

**[0088]** Anschließend startet das Laserbearbeitungssystem 1A die Bearbeitung auf Grundlage der erzeugten Bearbeitungsbedingung (S12). Das Werkstück 70 wird mit einem vom Laseroszillator 21 emittierten Laserstrahl bestrahlt und die Zustandsmesseinheit 25 erkennt den sich ändernden Zustand des Werkstücks 70 und den inneren Zustand des Bearbeitungskopfs 23 auf Grundlage eines Erkennungsstartsignals und eines Befehls (S13). In **Fig. 10** ist der Betrieb gemäß Schritt S13 als „ZUSTANDSSIGNAL MESSEN“ formuliert. Die Bearbeitungsüberwachungseinheit 26 erkennt während der Bearbeitung den sich ändernden Zustand der vorderen Fläche und/oder den sich ändernden Zustand der hinteren Fläche des Werkstücks 70(S14). In **Fig. 10** ist der Betrieb gemäß Schritt S14 als „ÜBERWACHUNGSSIGNAL MESSEN“ formuliert.

**[0089]** Die Inferenzeinheit 31 extrahiert auf Grundlage eines Erkennungsergebnisses der Zustands-

messeinheit 25 ein Merkmal und bestimmt mit dem Merkmal eine Qualität der Bearbeitung (S15). In **Fig. 10** ist der Betrieb gemäß Schritt S15 als „ZUSTAND BESTIMMEN“ formuliert. Die Bearbeitungsentscheidungseinheit 32 erkennt einen Bearbeitungsfehler durch eine Entscheidung unter Verwendung eines Schwellenwertes oder eines Bildes (S16) auf Grundlage eines Erkennungsergebnisses der Bearbeitungsüberwachungseinheit 26. In **Fig. 10** ist der Betrieb gemäß Schritt S16 als „ENTSCHEIDUNG ZU ANOMALIE TREFFEN“ formuliert.

**[0090]** Die Maschinensicherheitseinheit 33 bestimmt auf Grundlage eines Inferenzergebnisses, das von der Inferenzeinheit 31 erhalten wird, und eines Entscheidungsergebnisses, das von der Bearbeitungsentscheidungseinheit 32 erhalten wird, ob die Bearbeitung fortzusetzen ist oder nicht (S17). Die Maschinensicherheitseinheit 33 bestimmt insbesondere, dass die Bearbeitung fortzusetzen ist, wenn das Inferenzergebnis, das von der Inferenzeinheit 31 erhalten wird, eine gute Bearbeitung angibt und das Entscheidungsergebnis, das von der Bearbeitungsentscheidungseinheit 32 erhalten wird, keinen Fehler angibt. Wenn die Bearbeitungsentscheidungseinheit 32 eine Bestimmung einer Anomalie, die den Fehler angibt, ausgibt, bestimmt die Maschinensicherheitseinheit 33, dass die Bearbeitung zu unterbrechen ist, unabhängig von dem Ergebnis, das von der Inferenzeinheit 31 erhalten wird.

**[0091]** Wenn die Maschinensicherheitseinheit 33 bestimmt, dass die Bearbeitung zu unterbrechen ist (Nein bei S17), gibt die Maschinensicherheitseinheit 33 einen Alarm aus (S18). Wenn insbesondere die Bearbeitungsbedingung, die von der Bestimmungseinheit 34A von Korrekturbearbeitungsbedingungen bestimmt wird, eine Bedingung außerhalb des Begrenzungsbereichs ist, der von der Begrenzungseinheit 38A eingestellt wird, bestimmt die Maschinensicherheitseinheit 33, dass die Laserstrahlbearbeitung unterbrochen wird, und gibt den Alarm aus.

**[0092]** Das Laserbearbeitungssystem 1A unterbricht die Bearbeitung, wenn die Maschinensicherheitseinheit 33 bestimmt, dass die Laserstrahlbearbeitung zu unterbrechen ist. Das Laserbearbeitungssystem 1A bestimmt, ob der Alarm behoben wurde oder nicht (S19). Wenn das Laserbearbeitungssystem 1A entscheidet, dass der Alarm behoben wurde (Ja bei S19), führt das Laserbearbeitungssystem 1A den Betrieb gemäß Schritt S11 durch. Wenn das Laserbearbeitungssystem 1A entscheidet, dass der Alarm nicht behoben wurde (Nein bei S19), endet der Betrieb des Laserbearbeitungssystems 1A.

**[0093]** Wenn die Maschinensicherheitseinheit 33 bestimmt, dass die Bearbeitung fortzusetzen ist (Ja bei S17), das heißt, wenn die Maschinensicherheitseinheit 33 ein Steuersignal für die fortgesetzte Bearbeitung ausgibt, berechnet die Bestimmungseinheit 34A von Korrekturbearbeitungsbedingungen Korrekturgrößen, die für das Inferenzergebnis, das von der Inferenzeinheit 31 erhalten wird, geeignet sind, berechnet eine korrigierte Bearbeitungsbedingung auf Grundlage der berechneten Korrekturgrößen und gibt die korrigierte Bearbeitungsbedingung an die Begrenzungseinheit 38A aus (S20). Die Begrenzungseinheit 38A bestimmt auf Grundlage der gespeicherten Bearbeitungstoleranz oder der Bearbeitungstoleranz des Anwenders, ob die korrigierte Bearbeitungsbedingung eine Bedingung innerhalb des Begrenzungsbereichs ist oder nicht (S21).

**[0094]** Wenn die Begrenzungseinheit 38A entscheidet, dass die korrigierte Bearbeitungsbedingung nicht innerhalb des Begrenzungsbereiches liegt (Nein bei S21), führt das Laserbearbeitungssystem 1A den Betrieb gemäß Schritt S18 durch, da ein Bearbeitungsfehler auftreten wird. Wenn die Begrenzungseinheit 38A entscheidet, dass die korrigierte Bearbeitungsbedingung innerhalb des Begrenzungsbereichs liegt (Ja bei S21), modifiziert die Steuereinheit 35 die Bearbeitungsbedingung (S22) und das Laserbearbeitungssystem 1A führt die nächste Bearbeitung durch.

**[0095]** Wie vorstehend beschrieben, modifiziert das Laserbearbeitungssystem 1A gemäß der zweiten Ausführungsform eine Bearbeitungsbedingung auf Grundlage eines Begrenzungsbereichs, der durch die Begrenzungseinheit 38A eingestellt wird. Daher erzielt das Laserbearbeitungssystem 1A die gleichen Wirkungen wie sie durch das Laserbearbeitungssystem 1 gemäß der ersten Ausführungsform erzielt werden und ist zu einer sichereren Bearbeitung fähig. Anders ausgedrückt ist das Laserbearbeitungssystem 1A ein System, das Stabilität erreicht. Da das Laserbearbeitungssystem 1A mit der Begrenzungseinheit 38A versehen ist, ist das Laserbearbeitungssystem 1A insbesondere fähig, Bearbeitungsfehler, die durch korrigierte Bearbeitungsbedingungen verursacht werden können, zu reduzieren oder zu verhindern.

**[0096]** Der Anwender kann den Begrenzungsbereich verändern, indem er Informationen, die einen Begrenzungsbereich angeben, in das Laserbearbeitungssystem 1A eingibt. Beispielsweise kann der Anwender in Fällen, in denen ein Fehler während der eigentlichen Bearbeitung auftritt, den Begrenzungsbereich, der auf der Anzeigeeinheit 36 angezeigt wird, mit der Eingabeeinheit 37 verändern.

**[0097]** In Fällen, in denen die Bestimmungseinheit 34A von Korrekturbearbeitungsbedingungen Bearbeitungsparameter auswählt, die in einer Bearbeitungsbedingung eingestellt werden und als korrigierte Bearbeitungsbedingung auszugeben sind,

kann die Begrenzungseinheit 38A einen Begrenzungsbereich für die Bearbeitungsparameter einstellen, die von der Bestimmungseinheit 34A von Korrekturbearbeitungsbedingungen ausgewählt werden.

Dritte Ausführungsform.

**[0098]** **Fig. 11** ist eine Darstellung, die eine Ausgestaltung eines Laserbearbeitungssystems 1B gemäß einer dritten Ausführungsform veranschaulicht. Das Laserbearbeitungssystem 1B beinhaltet die Laserstrahlmaschine 2, die das Laserbearbeitungssystem 1A gemäß der zweiten Ausführungsform beinhaltet, und eine Steuerung 3B, die die Laserstrahlmaschine 2 steuert. In der dritten Ausführungsform wird eine Beschreibung bereitgestellt, die im Wesentlichen Unterschiede zu der zweiten Ausführungsform betrifft. Die Steuerung 3B beinhaltet die Inferenzeinheit 31, die Bearbeitungsentscheidungseinheit 32, die Maschinensicherheitseinheit 33, eine Bestimmungseinheit 34B von Korrekturbearbeitungsbedingungen, die Steuereinheit 35, die Anzeigeeinheit 36, die Eingabeeinheit 37, eine Begrenzungseinheit 38B und eine Bearbeitungsbedingungsspeichereinheit 39B.

**[0099]** Nachfolgend wird eine Beschreibung darüber bereitgestellt, wie das Laserbearbeitungssystem 1B funktioniert. Wenn eine Bearbeitung beginnt, funktionieren die Zustandsmesseinheit 25 und die Bearbeitungsüberwachungseinheit 26 wie in der zweiten Ausführungsform. Die Inferenzeinheit 31 leitet auf Grundlage von Informationen, die von der Zustandsmesseinheit 25 erhalten werden, einen Zustand des Werkstücks 70 ab. Die Bearbeitungsentscheidungseinheit 32 trifft auf Grundlage von Informationen, die von der Bearbeitungsüberwachungseinheit 26 erhalten werden, Entscheidungen zu Anomalien, die an der vorderen und hinteren Fläche des Werkstücks 70 auftreten. Wenn die Inferenzeinheit 31 und die Bearbeitungsentscheidungseinheit 32 ein erhaltenes Ergebnis an die Bearbeitungsbedingungsspeichereinheit 39B ausgeben, ist das erhaltene Ergebnis einer Bearbeitungsbedingung zugeordnet. Die Bearbeitungsbedingungsspeichereinheit 39B hat die Funktion, Informationen zu speichern. Mindestens ein Teil der Bearbeitungsbedingungsspeichereinheit 39B ist beispielsweise mit einem Halbleiterspeicher umgesetzt. Die Bearbeitungsbedingungsspeichereinheit 39B gibt gespeicherte Bearbeitungsbedingungen, die einer guten Bearbeitung zugeordnet sind, und gespeicherte Bearbeitungsbedingungen, die einer schlechten Bearbeitung zugeordnet sind, an die Begrenzungseinheit 38B aus. Auf Grundlage der Bearbeitungsbedingungen, die von der Bearbeitungsbedingungsspeichereinheit 39B ausgegeben werden aktualisiert die Begrenzungseinheit 38B einen Begrenzungsbereich, um den Begrenzungsbereich neu einzustellen.

**[0100]** **Fig. 12** ist eine Darstellung, die eine Variation der Bearbeitungstoleranz nach Materialzuständen und Bearbeitungszuständen veranschaulicht. Wenn die Bearbeitung fortschreitet, treten entweder eines oder beide einer Veränderung des Zustands des Werkstücks 70 aufgrund von Wärmeansammlung in dem Werkstück 70 und eine Veränderung des Zustands des Bearbeitungskopfes 23 auf; folglich verändert sich manchmal ein bearbeitbarer Bereich. Die in **Fig. 12** veranschaulichte Bearbeitungstoleranz ist durch den Parameter A und den Parameter B gekennzeichnet. In **Fig. 12** stellen O-Markierungen Bearbeitungsbedingungen dar, die eine gute Bearbeitung bereitgestellt haben, und stellen X-Markierungen Bearbeitungsbedingungen dar, die eine schlechte Bearbeitung bereitgestellt haben. Eine Dreiecksmarkierung stellt eine als Standardbearbeitungsbedingung im Laserbearbeitungssystem 1B eingestellte Bearbeitungsbedingung dar. Eine Grenze 51 stellt eine Grenze zwischen Fällen dar, in denen Bearbeitungsergebnisse nach der/den Veränderung(en) gut sind, und Fällen, in denen Bearbeitungsergebnisse nach der/den Veränderung(en) schlecht sind. Ein Bereich 61 stellt einen Begrenzungsbereich dar, der durch die Begrenzungseinheit 38B eingestellt wird und nach der/den Veränderung (en) für die Grenze 51 geeignet ist.

**[0101]** Die Grenze 50 und der Bereich 60 aus **Fig. 9** sind auch in **Fig. 12** veranschaulicht. Ein bearbeitbarer Bereich ist in dem Fall von **Fig. 12** verglichen mit dem bearbeitbaren Bereich in dem Fall von **Fig. 9** schmal. Anders ausgedrückt werden ein Bereich von a3 bis a4 für den Parameter A und ein Bereich von b3 bis b4 für den Parameter B als der Begrenzungsbereich eingestellt. a3 ist größer als a1 und kleiner als a4. a4 ist kleiner als a2. b3 ist größer als b1 und kleiner als b4. b4 ist kleiner als b2. In Fällen, in denen sich die Bearbeitungsergebnisse unterscheiden, wenn eine Bearbeitung mit der gleichen Bedingung durchgeführt wird, kann die Begrenzungseinheit 38B somit einen Begrenzungsbereich aktualisieren.

**[0102]** **Fig. 13** ist ein Ablaufdiagramm, das einen Betriebsablauf des Laserbearbeitungssystems 1B gemäß der dritten Ausführungsform veranschaulicht. Das Laserbearbeitungssystem 1B erzeugt eine Bearbeitungsbedingung für die Bearbeitung wie in der zweiten Ausführungsform (S31). Die Bestimmungseinheit 34B von Korrekturbearbeitungsbedingungen der Steuerung 3B kann die Bearbeitungsbedingung erzeugen. Die zu erzeugende Bearbeitungsbedingung kann auf Grundlage eines Inferenzergebnisses zu einem Bearbeitungszustand, das von der Inferenzeinheit 31 erhalten wird, bestimmt werden. Die zu erzeugende Bearbeitungsbedingung muss eine Bedingung innerhalb eines Begrenzungsbereichs sein, der durch die Begrenzungseinheit 38B eingestellt wird.

**[0103]** Anschließend beginnt das Laserbearbeitungssystem 1B die Bearbeitung auf Grundlage der Bearbeitungsbedingung, die bei Schritt S31 erzeugt wurde (S32). Das Werkstück 70 wird mit einem vom Laseroszillator 21 emittierten Laserstrahl bestrahlt und die Zustandsmesseinheit 25 erkennt den sich ändernden Zustand des Werkstücks 70 und den inneren Zustand des Bearbeitungskopfs 23 auf Grundlage eines Bearbeitungsstartsignals (S33). In **Fig. 13** ist der Betrieb gemäß Schritt S33 als „ZUSTANDSSIGNAL MESSEN“ formuliert. Die Bearbeitungsüberwachungseinheit 26 erkennt während der Bearbeitung den sich ändernden Zustand der vorderen Fläche und/oder den sich ändernden Zustand der hinteren Fläche des Werkstücks 70 (S34). In **Fig. 13** ist der Betrieb gemäß Schritt S34 als „ÜBERWACHUNGSSIGNAL MESSEN“ formuliert.

**[0104]** Die Inferenzeinheit 31 extrahiert auf Grundlage eines Erkennungsergebnisses der Zustandsmesseinheit 25 ein Merkmal und bestimmt mit dem Merkmal eine Qualität der Bearbeitung (S35). In **Fig. 13** ist der Betrieb gemäß Schritt S35 als „ZUSTAND ABLEITEN“ formuliert. Die Bearbeitungsentscheidungseinheit 32 erkennt einen Bearbeitungsfehler durch eine Entscheidung unter Verwendung eines Schwellenwertes oder eines Bildes auf Grundlage eines Erkennungsergebnisses der Bearbeitungsüberwachungseinheit 26 (S36). In **Fig. 13** ist der Betrieb gemäß Schritt S36 als „ENTSCHEIDUNG ZU ANOMALIE TREFFEN“ formuliert.

**[0105]** Unabhängig von einem Bearbeitungsergebnis speichert die Bearbeitungsbedingungsspeichereinheit 39B die Bearbeitungsbedingung zusammen mit einem Inferenzergebnis und speichert die Bearbeitungsbedingung zusammen mit einem Entscheidungsergebnis (S37). Die Begrenzungseinheit 38B bezieht sich auf die Informationen, die in der Bearbeitungsbedingungsspeichereinheit 39B gespeichert sind und aktualisiert den Begrenzungsbereich (S38).

**[0106]** Die Maschinensicherheitseinheit 33 bestimmt auf Grundlage des Inferenzergebnisses, das von der Inferenzeinheit 31 erhalten wird, und des Entscheidungsergebnisses, das von der Bearbeitungsentscheidungseinheit 32 erhalten wird, ob die Bearbeitung fortzusetzen ist oder nicht (S39). Die Maschinensicherheitseinheit 33 bestimmt insbesondere, dass die Bearbeitung fortzusetzen ist, wenn das Inferenzergebnis, das von der Inferenzeinheit 31 erhalten wird, eine gute Bearbeitung angibt und das Entscheidungsergebnis, das von der Bearbeitungsentscheidungseinheit 32 erhalten wird, keinen Fehler angibt. Wenn die Bearbeitungsentscheidungseinheit 32 eine Bestimmung einer Anomalie, die den Fehler angibt, ausgibt, bestimmt die Maschinensicherheitseinheit 33, dass die Bearbeitung zu unterbrechen ist, unabhängig von dem Ergebnis, das von der Inferenzeinheit 31 erhalten wird.

**[0107]** Wenn die Maschinensicherheitseinheit 33 bestimmt, dass die Bearbeitung zu unterbrechen ist (Nein bei S39), gibt die Maschinensicherheitseinheit 33 einen Alarm aus (S40). Wenn insbesondere die korrigierte Bearbeitungsbedingung, die von der Bestimmungseinheit 34B von Korrekturbearbeitungsbedingungen bestimmt wird, eine Bedingung außerhalb des Begrenzungsbereichs ist, der von der Begrenzungseinheit 38B eingestellt wird, bestimmt die Maschinensicherheitseinheit 33, dass die Laserstrahlbearbeitung unterbrochen wird, und gibt den Alarm aus.

**[0108]** Das Laserbearbeitungssystem 1B unterbricht die Bearbeitung, wenn die Maschinensicherheitseinheit 33 bestimmt, dass die Laserstrahlbearbeitung zu unterbrechen ist. Das Laserbearbeitungssystem 1B bestimmt, ob der Alarm behoben wurde oder nicht (S41). Wenn das Laserbearbeitungssystem 1B entscheidet, dass der Alarm behoben wurde (Ja bei S41), führt das Laserbearbeitungssystem 1B den Betrieb gemäß Schritt S32 durch. Wenn das Laserbearbeitungssystem 1B entscheidet, dass der Alarm nicht behoben wurde (Nein bei S41), endet der Betrieb des Laserbearbeitungssystems 1B.

**[0109]** Wenn die Maschinensicherheitseinheit 33 bestimmt, dass die Bearbeitung fortzusetzen ist (Ja bei S39), das heißt, wenn die Maschinensicherheitseinheit 33 ein Steuersignal für die fortgesetzte Bearbeitung ausgibt, berechnet die Bestimmungseinheit 34B von Korrekturbearbeitungsbedingungen Korrekturgrößen, die für das Inferenzergebnis, das von der Inferenzeinheit 31 erhalten wird, geeignet sind, berechnet eine korrigierte Bearbeitungsbedingung auf Grundlage der berechneten Korrekturgrößen und gibt die korrigierte Bearbeitungsbedingung an die Begrenzungseinheit 38B aus (S42). Die Begrenzungseinheit 38B bestimmt, ob die korrigierte Bearbeitungsbedingung, die von der Bestimmungseinheit 34B von Korrekturbearbeitungsbedingungen ausgegeben wird, eine Bedingung innerhalb des aktualisierten Begrenzungsbereiches (S43) ist oder nicht.

**[0110]** Wenn die Begrenzungseinheit 38B entscheidet, dass die korrigierte Bearbeitungsbedingung nicht innerhalb des Begrenzungsbereiches liegt (Nein bei S43), führt das Laserbearbeitungssystem 1B den Betrieb gemäß Schritt S40 durch, da ein Bearbeitungsfehler auftreten wird. Wenn die Begrenzungseinheit 38B entscheidet, dass die korrigierte Bearbeitungsbedingung innerhalb des Begrenzungsbereichs liegt (Ja bei S43), modifiziert die Steuereinheit 35 die Bearbeitungsbedingung (S44) und das Laserbearbeitungssystem 1B führt die nächste Bearbeitung durch.

**[0111]** Wie vorstehend beschrieben, kann das Laserbearbeitungssystem 1B gemäß der dritten Ausführungsform selbst dann Stabilität erreichen, wenn sich die Bearbeitungstoleranz nach dem Zustand des Werkstücks 70 oder den Variationen ändert.

**[0112]** Wie vorstehend beschrieben, werden gute Bearbeitungsbedingungen und schlechte Bearbeitungsbedingungen durch die Inferenzeinheit 31 gleichzeitig mit den Inferenzergebnissen zur Qualität an die Bearbeitungsbedingungsspeichereinheit 39B ausgegeben. Gute Bearbeitungsbedingungen und schlechte Bearbeitungsbedingungen werden von der Bearbeitungsentscheidungseinheit 32 gleichzeitig mit den Entscheidungsergebnissen zur Qualität an die Bearbeitungsbedingungsspeichereinheit 39B ausgegeben. Die Bearbeitungsbedingungsspeichereinheit 39B erhält die Inferenzergebnisse, die guten Bearbeitungsbedingungen und die schlechten Bearbeitungsbedingungen von der Inferenzeinheit 31 und speichert die Inferenzergebnisse als Bearbeitungsergebnisdaten in Verbindung mit den guten Bearbeitungsbedingungen und den schlechten Bearbeitungsbedingungen. Die Bearbeitungsbedingungsspeichereinheit 39B erhält die Entscheidungsergebnisse, die guten Bearbeitungsbedingungen und die schlechten Bearbeitungsbedingungen von der Bearbeitungsentscheidungseinheit 32 und speichert die Entscheidungsergebnisse als Bearbeitungsergebnisdaten in Verbindung mit den guten Bearbeitungsbedingungen und den schlechten Bearbeitungsbedingungen.

**[0113]** Die Bearbeitungsbedingungsspeichereinheit 39B gibt numerische Bereiche, die zum Zeitpunkt der Modifikation einer Bedingung zu verwendenden sind, an die Begrenzungseinheit 38B aus. Die Bearbeitungsbedingungsspeichereinheit 39B speichert eine Bearbeitungsbedingung, für die ein Entscheidungsergebnis, das von der Bearbeitungsentscheidungseinheit 32 erhalten wird, und ein Inferenzergebnis, das von der Inferenzeinheit 31 erhalten wird, die beide hohe Güte angeben, als gute Bearbeitungsbedingung und speichert eine Bearbeitungsbedingung, für die ein Entscheidungsergebnis, das von der Bearbeitungsentscheidungseinheit 32 erhalten wird, schlechte Güte angibt, als schlechte Bearbeitungsbedingung. Die Bearbeitungsbedingungsspeichereinheit 39B kann eine Bearbeitungsbedingung, für die ein Entscheidungsergebnis und ein Inferenzergebnis hohe Güte verglichen mit vorbestimmten Kriterien angeben, als gute Bearbeitungsbedingung speichern, und eine Bearbeitungsbedingung, für die ein Entscheidungsergebnis und ein Inferenzergebnis schlechte Güte verglichen mit den vorbestimmten Kriterien angeben, als schlechte Bearbeitungsbedingung speichern.

**[0114]** Parameter, die die Bearbeitungsbedingungsspeichereinheit 39B speichert, beinhalten einen Teil oder die Gesamtheit von Folgendem: der Laserausgangsleistung, des Bearbeitungsgasdrucks, der Bearbeitungsgeschwindigkeit, der Fokuslage, des Durchmessers des fokussierten Strahls, der Pulsfrequenz des Lasers, eines Tastverhältnisses eines Pulses, einer Vergrößerung eines optischen Zoomsystems innerhalb des Bearbeitungskopfes 23, einer Krümmungsänderung einer adaptiven Optik, einer Düsenart, eines Durchmessers der Düse, eines Abstands zwischen dem Werkstück 70 und der Düse, eines Abstands in einem Laserstrahlmodus und einem Ein-/Ausschalten der Bearbeitungssteuerung.

**[0115]** Die Bearbeitungsbedingungsspeichereinheit 39B kann andere Parameter als die vorgenannten speichern. Die Parameter, die die Bearbeitungsbedingungsspeichereinheit 39B speichert, sind nicht einschränkend, solange diese Parameter für die Laserstrahlbearbeitung eingestellt werden können. Die Bearbeitungsbedingungsspeichereinheit 39B kann eine numerische Tabelle über Auslegungsinformationen für Bearbeitungsbedingungen, Bearbeitungstoleranzinformationen, die in der vergangenen Bedingungsentwicklung verwendet wurden, eine Ausgabestabilität des Laseroszillators 21 oder Kühlfähigkeit des Bearbeitungskopfes 23 speichern.

**[0116]** Die Begrenzungseinheit 38B bestimmt den Begrenzungsbereich auf Grundlage der guten und schlechten Bearbeitungsbedingungen, die in der Bearbeitungsbedingungsspeichereinheit 39B gespeichert sind, neu. Die Begrenzungseinheit 38B funktioniert auf die gleiche Weise wie die Begrenzungseinheit 38A gemäß der zweiten Ausführungsform, mit dem Unterschied, dass sich die Begrenzungseinheit 38B auf die Ergebnisse bezieht, die in der Bearbeitungsbedingungsspeichereinheit 39B gespeichert sind und den Begrenzungsbereich aktualisiert.

**[0117]** Der bearbeitbare Bereich verengt oder erweitert sich, beispielsweise abhängig vom Zustand der vorderen Fläche des Werkstücks 70. Daher kann ein Anwender die numerischen Bereiche der Bearbeitungsparameter, die in der Begrenzungseinheit 38B eingestellt sind, aktualisieren. Anders ausgedrückt kann der Anwender die numerischen Bereiche der Bearbeitungsparameter erweitern oder verengen. Der Anwender kann die numerischen Bereiche so einstellen, dass sich die Bereiche automatisch gemäß den Situationen ändern. Die numerischen Bereiche können auf Grundlage von Bearbeitungsdatensatzdaten, nachdem die Bearbeitung eine voreingestellte Anzahl von Malen durchgeführt wurde, oder durch Bezugnahme auf Bearbeitungsdatensatzdaten nach jeder Bearbeitung aktualisiert werden.

**[0118]** Wie vorstehend beschrieben, modifiziert das Laserbearbeitungssystem 1B gemäß der dritten Ausführungsform eine Bearbeitungsbedingung auf Grundlage eines Begrenzungsbereichs, der durch die Begrenzungseinheit 38B eingestellt wird. Daher erzielt das Laserbearbeitungssystem 1B die gleichen Wirkungen wie sie durch das Laserbearbeitungssystem 1 gemäß der ersten Ausführungsform und das Laserbearbeitungssystem 1A gemäß der zweiten Ausführungsform erzielt werden. Außerdem ist das Laserbearbeitungssystem 1B fähig, eine zweckentsprechende Bearbeitung in kürzerer Zeit ordnungsgemäß durchzuführen.

**[0119]** **Fig. 14** ist eine Darstellung, die einen Prozessor 91 in Fällen veranschaulicht, in denen der Prozessor 91 dazu verwendet wird, mindestens einen Teil der Inferenzeinheit 31, der Bearbeitungsentscheidungseinheit 32, der Maschinensicherheitseinheit 33, der Bestimmungseinheit 34 von Korrekturbearbeitungsbedingungen, der Steuereinheit 35, der Anzeigeeinheit 36 und der Eingabeeinheit 37 der Steuerung 3 des Laserbearbeitungssystems 1 gemäß der ersten Ausführungsform umzusetzen. Anders ausgedrückt kann mindestens ein Teil der Funktionen der Inferenzeinheit 31, der Bearbeitungsentscheidungseinheit 32, der Maschinensicherheitseinheit 33, der Bestimmungseinheit 34 von Korrekturbearbeitungsbedingungen, der Steuereinheit 35, der Anzeigeeinheit 36 und der Eingabeeinheit 37 mit dem Prozessor 91 umgesetzt werden, der in einem Speicher 92 gespeicherte Programme ausführt. Der Prozessor 91 ist eine Zentraleinheit (Central Processing Unit - CPU), eine Verarbeitungseinheit, ein Rechenwerk, ein Mikroprozessor oder ein digitaler Signalprozessor (DSP). Der Speicher 92 ist ebenfalls in **Fig. 14** veranschaulicht.

**[0120]** In Fällen, in denen der mindestens eine Teil der Funktionen der Inferenzeinheit 31, der Bearbeitungsentscheidungseinheit 32, der Maschinensicherheitseinheit 33, der Bestimmungseinheit 34 von Korrekturbearbeitungsbedingungen, der Steuereinheit 35, der Anzeigeeinheit 36 und der Eingabeeinheit 37 mit dem Prozessor 91 umgesetzt ist, wird der mindestens eine Teil der Funktionen mit dem Prozessor 91 und Software, Firmware oder einer Kombination aus Software und Firmware umgesetzt. Die Software oder die Firmware sind als Programme beschrieben und sind in dem Speicher 92 gespeichert. Der Prozessor 91 liest die Programme, die in dem Speicher 92 gespeichert sind, aus und führt diese aus, um den mindestens einen Teil der Funktionen der Inferenzeinheit 31, der Bearbeitungsentscheidungseinheit 32, der Maschinensicherheitseinheit 33, der Bestimmungseinheit 34 von Korrekturbearbeitungsbedingungen, der Steuereinheit 35, der Anzeigeeinheit 36 und der Eingabeeinheit 37 umzusetzen.

**[0121]** In Fällen, in denen der mindestens eine Teil der Funktionen der Inferenzeinheit 31, der Bearbeitungsentscheidungseinheit 32, der Maschinensicherheitseinheit 33, der Bestimmungseinheit 34 von Korrekturbearbeitungsbedingungen, der Steuereinheit 35, der Anzeigeeinheit 36 und der Eingabeeinheit 37 mit dem Prozessor 91 umgesetzt wird, ist der Speicher 92 in dem Laserbearbeitungssystem 1 beinhaltet, um die Programme zu speichern, mit denen der mindestens eine Teil der Schritte der Inferenzeinheit 31, der Bearbeitungsentscheidungseinheit 32, der Maschinensicherheitseinheit 33, der Bestimmungseinheit 34 von Korrekturbearbeitungsbedingungen, der Steuereinheit 35, der Anzeigeeinheit 36 und der Eingabeeinheit 37 infolgedessen ausgeführt wird. Man kann sagen, dass die im Speicher 92 gespeicherten Programme einen Rechner veranlassen, mindestens einen Teil von Abläufen oder Verfahren der Inferenzeinheit 31, der Bearbeitungsentscheidungseinheit 32, der Maschinensicherheitseinheit 33, der Bestimmungseinheit 34 von Korrekturbearbeitungsbedingungen, der Steuereinheit 35, der Anzeigeeinheit 36 und der Eingabeeinheit 37 durchzuführen.

**[0122]** Der Speicher 92 ist beispielsweise ein nicht flüchtiger oder flüchtiger Halbleiterspeicher, wie etwa ein Direktzugriffsspeicher (Random-Access Memory - RAM), ein Festwertspeicher (Read-Only Memory - ROM), ein Flash-Speicher, ein löschbarer programmierbarer Festwertspeicher (Erasable Programmable ROM - EPROM) oder ein elektrisch löschbarer programmierbarer Festwertspeicher (Electrically Erasable PROM - EEPROM) (eingetragenes Warenzeichen), eine Magnetplatte, eine flexible Platte, eine optische Platte, eine Compact Disk, eine Mini Disk oder eine Digital Versatile Disk (DVD).

**[0123]** **Fig. 15** ist eine Darstellung, die eine Verarbeitungsschaltung 93 in Fällen veranschaulicht, in denen die Verarbeitungsschaltung 93 dazu verwendet wird, mindestens einen Teil der Inferenzeinheit 31, der Bearbeitungsentscheidungseinheit 32, der Maschinensicherheitseinheit 33, der Bestimmungseinheit 34 von Korrekturbearbeitungsbedingungen, der Steuereinheit 35, der Anzeigeeinheit 36 und der Eingabeeinheit 37 der Steuerung 3 des Laserbearbeitungssystems 1 gemäß der ersten Ausführungsform umzusetzen. Anders ausgedrückt kann der mindestens eine Teil der Inferenzeinheit 31, der Bearbeitungsentscheidungseinheit 32, der Maschinensicherheitseinheit 33, der Bestimmungseinheit 34 von Korrekturbearbeitungsbedingungen, der Steuereinheit 35, der Anzeigeeinheit 36 und der Eingabeeinheit 37 mit der Verarbeitungsschaltung 93 umgesetzt sein.

**[0124]** Die Verarbeitungsschaltung 93 ist dedizierte Hardware. Die Verarbeitungsschaltung 93 ist beispielsweise eine Einzelschaltung, eine Verbund-

schaltung, ein programmierter Prozessor, ein programmierter Parallelprozessor, eine anwendungsspezifische integrierte Schaltung (Application Specific Integrated Circuit - ASIC), ein feldprogrammierbares Gate-Array (FPGA) oder eine Kombination von diesen.

**[0125]** Ein Teil der Inferenzeinheit 31, der Bearbeitungsentscheidungseinheit 32, der Maschinensicherheitseinheit 33, der Bestimmungseinheit 34 von Korrekturbearbeitungsbedingungen, der Steuereinheit 35, der Anzeigeeinheit 36 und der Eingabeeinheit 37 kann mit anderer dezidierter Hardware getrennt von einem restlichen Teil umgesetzt sein.

**[0126]** Ein Teil der mehreren Funktionen der Inferenzeinheit 31, der Bearbeitungsentscheidungseinheit 32, der Maschinensicherheitseinheit 33, der Bestimmungseinheit 34 von Korrekturbearbeitungsbedingungen, der Steuereinheit 35, der Anzeigeeinheit 36 und der Eingabeeinheit 37 kann mit Software oder Firmware umgesetzt sein, während ein restlicher Teil der mehreren Funktionen mit dedizierter Hardware umgesetzt sein kann. Wie vorstehend beschrieben, sind die mehreren Funktionen der Inferenzeinheit 31, der Bearbeitungsentscheidungseinheit 32, der Maschinensicherheitseinheit 33, der Bestimmungseinheit 34 von Korrekturbearbeitungsbedingungen, der Steuereinheit 35, der Anzeigeeinheit 36 und der Eingabeeinheit 37 mit der Hardware, der Software, der Firmware oder der Kombination aus diesen umsetzbar.

**[0127]** Mindestens ein Teil der Funktionen der Antriebseinheit 24, der Zustandsmesseinheit 25 und der Bearbeitungsüberwachungseinheit 26 der Laserstrahlmaschine 2 des Laserbearbeitungssystems 1 gemäß der ersten Ausführungsform kann mit einem Prozessor umgesetzt sein, der in einem Speicher gespeicherte Programme ausführt. Der Speicher ist der gleiche wie der Speicher 92 und der Prozessor ist der gleiche wie der Prozessor 91. Mindestens ein Teil der Antriebseinheit 24, der Zustandsmesseinheit 25 und der Bearbeitungsüberwachungseinheit 26 kann mit einer Verarbeitungsschaltung umgesetzt sein. Die Verarbeitungsschaltung ist die gleiche wie die Verarbeitungsschaltung 93.

**[0128]** Mindestens ein Teil der Funktionen der Inferenzeinheit 31, der Bearbeitungsentscheidungseinheit 32, der Maschinensicherheitseinheit 33, der Bestimmungseinheit 34A von Korrekturbearbeitungsbedingungen, der Steuereinheit 35, der Anzeigeeinheit 36, der Eingabeeinheit 37 und der Begrenzungseinheit 38A der Steuerung 3A des Laserbearbeitungssystems 1A gemäß der zweiten Ausführungsform kann mit einem Prozessor umgesetzt sein, der in einem Speicher gespeicherte Programme ausführt. Der Speicher ist der gleiche wie der Speicher 92 und der Prozessor ist der gleiche wie der Prozessor 91. Mindestens ein Teil der Inferenzeinheit 31, der Bearbeitungsentscheidungseinheit 32, der Maschinensicherheitseinheit 33, der Bestimmungseinheit 34A von Korrekturbearbeitungsbedingungen, der Steuereinheit 35, der Anzeigeeinheit 36, der Eingabeeinheit 37 und der Begrenzungseinheit 38A der Steuerung 3A kann mit einer Verarbeitungsschaltung umgesetzt sein. Die Verarbeitungsschaltung ist die gleiche wie die Verarbeitungsschaltung 93.

**[0129]** Mindestens ein Teil der Funktionen der Inferenzeinheit 31, der Bearbeitungsentscheidungseinheit 32, der Maschinensicherheitseinheit 33, der Bestimmungseinheit 34B von Korrekturbearbeitungsbedingungen, der Steuereinheit 35, der Anzeigeeinheit 36, der Eingabeeinheit 37, der Begrenzungseinheit 38B und der Bearbeitungsbedingungsspeichereinheit 39B der Steuerung 3B des Laserbearbeitungssystems 1B gemäß der dritten Ausführungsform kann mit einem Prozessor umgesetzt sein, der in einem Speicher gespeicherte Programme ausführt. Der Speicher ist der gleiche wie der Speicher 92 und der Prozessor ist der gleiche wie der Prozessor 91. Mindestens ein Teil der Inferenzeinheit 31, der Bearbeitungsentscheidungseinheit 32, der Maschinensicherheitseinheit 33, der Bestimmungseinheit 34B von Korrekturbearbeitungsbedingungen, der Steuereinheit 35, der Anzeigeeinheit 36, der Eingabeeinheit 37, der Begrenzungseinheit 38B und der Bearbeitungsbedingungsspeichereinheit 39B der Steuerung 3B kann mit einer Verarbeitungsschaltung umgesetzt sein. Die Verarbeitungsschaltung ist die gleiche wie die Verarbeitungsschaltung 93.

**[0130]** Die vorstehenden Ausgestaltungen, die in den Ausführungsformen veranschaulicht sind, sind beispielhaft, können mit anderen, öffentlich bekannten Techniken kombiniert und teilweise weggelassen oder verändert werden, ohne vom Kern abzuweichen. Die Ausführungsformen können miteinander kombiniert werden.

Bezugszeichenliste

| | |
|---|---|
| 1, 1A, 1B | Laserbearbeitungssystem; |
| 2 | Laserstrahlmaschine; |
| 3, 3A, 3B | Steuerung; |
| 21 | Laseroszillator; |
| 22 | Strahlengang; |
| 23 | Bearbeitungskopf; |
| 24 | Antriebseinheit; |
| 25 | Zustandsmesseinheit; |
| 26 | Bearbeitungsüberwachungseinheit; |

| | |
|---|---|
| 31 | Inferenzeinheit; |
| 32 | Bearbeitungsentscheidungseinheit; |
| 33 | Maschinensicherheitseinheit; |
| 34,34A,34B | Bestimmungseinheit von Korrekturbearbeitungsbedingungen; |
| 35 | Steuereinheit; |
| 36 | Anzeigeeinheit; |
| 37 | Eingabeeinheit; |
| 38A,38B | Begrenzungseinheit; |
| 39B | Bearbeitungsbedingungsspeichereinheit; |
| 44 | Lerneinheit; |
| 45 | Datenerfassungseinheit; |
| 46 | Modellerzeugungseinheit; |
| 47 | Speichereinheit für gelernte Modelle; |
| 70 | Werkstück; |
| 91 | Prozessor; |
| 92 | Speicher; |
| 93 | Verarbeitungsschaltung. |

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- JP 201986928 [0005]
- JP 2019185530 [0005]

## Patentansprüche

1. Laserbearbeitungssystem, umfassend:
eine Antriebseinheit, um relative Positionen eines Bearbeitungskopfes, der einen von einem Laseroszillator emittierten Strahl beim Bestrahlen eines Werkstücks fokussiert, und des Werkstücks zu verändern;
eine Steuereinheit, um Betriebsbefehle für die Antriebseinheit und den Laseroszillator auf Grundlage eines Steuersignals und einer Bearbeitungsbedingung, die Parameter und numerische Werte für eine Laserstrahlbearbeitung spezifiziert, zu bestimmen;
eine Zustandsmesseinheit, um während der Laserstrahlbearbeitung einen inneren Zustand des Bearbeitungskopfes oder einen sich ändernden Zustand des Werkstücks zu beobachten und ein Beobachtungsergebnis als Bearbeitungszustandssignal auszugeben;
eine Inferenzeinheit, um einen Qualitätsgrad der Laserstrahlbearbeitung als Inferenzergebnis zu bestimmen, wobei der Qualitätsgrad für jeden Bearbeitungsfehler, der mindestens eine Art von Bearbeitungsfehler betrifft, auf Grundlage des Bearbeitungszustandssignals abgeleitet wird;
eine Bearbeitungsüberwachungseinheit, um das Werkstück auf das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein des Bearbeitungsfehlers zu überwachen und ein Überwachungsergebnis als Überwachungssignal auszugeben;
eine Bearbeitungsentscheidungseinheit, um auf Grundlage des Überwachungssignals zu entscheiden, ob die mindestens eine Art von Bearbeitungsfehler vorliegt oder nicht, und als Entscheidungsergebnis eine Qualität der Laserstrahlbearbeitung zu bestimmen; und
eine Maschinensicherheitseinheit, um auf Grundlage des Inferenzergebnisses und des Entscheidungsergebnisses das Steuersignal auszugeben, das eine Anweisung darüber gibt, ob die Laserstrahlbearbeitung anzuhalten oder fortzusetzen ist.

2. Laserbearbeitungssystem nach Anspruch 1, wobei die Maschinensicherheitseinheit einen Haltebefehl zum Anhalten der Bearbeitung, wenn die Maschinensicherheitseinheit anhand des Entscheidungsergebnisses zu der mindestens einen Art von Bearbeitungsfehler einen Bearbeitungsfehler bestimmt.

3. Laserbearbeitungssystem nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Maschinensicherheitseinheit einen Überwachungsbefehl bestimmt, um die Bearbeitungsentscheidungseinheit anzuweisen, das Entscheidungsergebnis zu bestimmen, wenn das Inferenzergebnis zu der mindestens einen Art von Bearbeitungsfehler angibt, dass der Qualitätsgrad verglichen mit einem vorbestimmten Kriterium schlecht ist.

4. Laserbearbeitungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Maschinensicherheitseinheit einen Befehl zur zyklischen Modulation bestimmt, um die Bearbeitungsentscheidungseinheit anzuweisen, einen Entscheidungszyklus zu einem kürzeren Zyklus zu verändern, wenn das Inferenzergebnis zu der mindestens einen Art von Bearbeitungsfehler angibt, dass der Qualitätsgrad verglichen mit einem vorbestimmten Kriterium schlecht ist, wobei der Entscheidungszyklus ein Zeitintervall für das zu bestimmende Entscheidungsergebnis ist.

5. Laserbearbeitungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 4, ferner umfassend:
eine Bestimmungseinheit von Korrekturbearbeitungsbedingungen, um die Bearbeitungsbedingung auf Grundlage des Inferenzergebnisses beim Bestimmen einer korrigierten Bearbeitungsbedingung zu korrigieren; und
eine Begrenzungseinheit, um einen Begrenzungsbereich zum Modifizieren der Bearbeitungsbedingung innerhalb eines begrenzten Umfangs einzustellen, wobei
die Maschinensicherheitseinheit bestimmt, dass die Laserstrahlbearbeitung zu unterbrechen ist, wenn die korrigierte Bearbeitungsbedingung, die von der Bestimmungseinheit von Korrekturbearbeitungsbedingungen bestimmt wird, eine Bedingung außerhalb eines Begrenzungsbereichs ist, der von der Begrenzungseinheit eingestellt wird.

6. Laserbearbeitungssystem nach Anspruch 5, ferner umfassend:
eine Bearbeitungsbedingungsspeichereinheit, um die Bearbeitungsbedingung, die bewirkt, dass das Entscheidungsergebnis und das Inferenzergebnis hohe Güte verglichen mit vorbestimmten Kriterien angeben, als gute Bearbeitungsbedingung zu speichern, und die Bearbeitungsbedingung, die bewirkt, dass das Entscheidungsergebnis und das Inferenzergebnis schlechte Güte verglichen mit vorbestimmten Kriterien angeben, als schlechte Bearbeitungsbedingung zu speichern, wobei
die Begrenzungseinheit den Begrenzungsbereich auf Grundlage der guten Bearbeitungsbedingung und der schlechten Bearbeitungsbedingung, die in der Bearbeitungsbedingungsspeichereinheit gespeichert sind, erneut bestimmt.

7. Laserbearbeitungssystem nach Anspruch 5 oder 6, wobei die Bestimmungseinheit von Korrekturbearbeitungsbedingungen Datensätze vorhält, die die Arten von Bearbeitungsfehlern, Korrekturparameter und einen Prioritätsgrad für jeden der Korrekturparameter als Fehlervermeidungsdaten beinhalten, die korrigierte Bearbeitungsbedingung auf Grundlage des Inferenzergebnisses und der Fehlervermeidungsdaten bestimmt und die korrigierte Bearbeitungsbedingung weiter korrigiert, wenn das Inferenzergebnis zur Bearbeitung unter Verwendung

der korrigierten Bearbeitungsbedingung eine schlechte Güte verglichen mit einem vorbestimmten Kriterium angibt, wobei jeder der Korrekturparameter ein Parameter der Bearbeitungsbedingung ist, die zum Vermeiden des Bearbeitungsfehlers zu korrigieren ist, wenn der Bearbeitungsfehler auftritt.

8. Laserbearbeitungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei
die Zustandsmesseinheit mindestens einen von einem akustischen Sensor, einem optischen Sensor, einem Beschleunigungssensor oder einem Temperatursensor beinhaltet, und
die Bearbeitungsüberwachungseinheit mindestens eines von einem akustischen Sensor, einem optischen Sensor, einer Kamera, einem Vibrationssensor oder einem Abstandssensor beinhaltet.

9. Laserbearbeitungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die Inferenzeinheit Folgendes beinhaltet:
eine Datenerfassungseinheit, um Trainingsdaten zu erhalten, die das Bearbeitungszustandssignal und Lehrer-Kennzeichnungen, die angeben, dass das Werkstück gut und schlecht ist, beinhalten, und
eine Modellerzeugungseinheit, um die Trainingsdaten beim Erzeugen eines erlernten Modells zu verwenden, das einen Qualitätsgrad der Laserstrahlbearbeitung ableitet.

10. Laserbearbeitungssystem nach einem der Ansprüche 5 bis 7, wobei die Bestimmungseinheit von Korrekturbearbeitungsbedingungen Bearbeitungsparameter auswählt, die in der Bearbeitungsbedingung eingestellt werden und als die korrigierte Bearbeitungsbedingung auszugeben sind.

11. Laserbearbeitungssystem nach Anspruch 10, wobei die Begrenzungseinheit den Begrenzungsbereich für die Bearbeitungsparameter einstellt, die von der Bestimmungseinheit von Korrekturbearbeitungsbedingungen ausgewählt werden.

Es folgen 12 Seiten Zeichnungen

**Anhängende Zeichnungen**

FIG.1

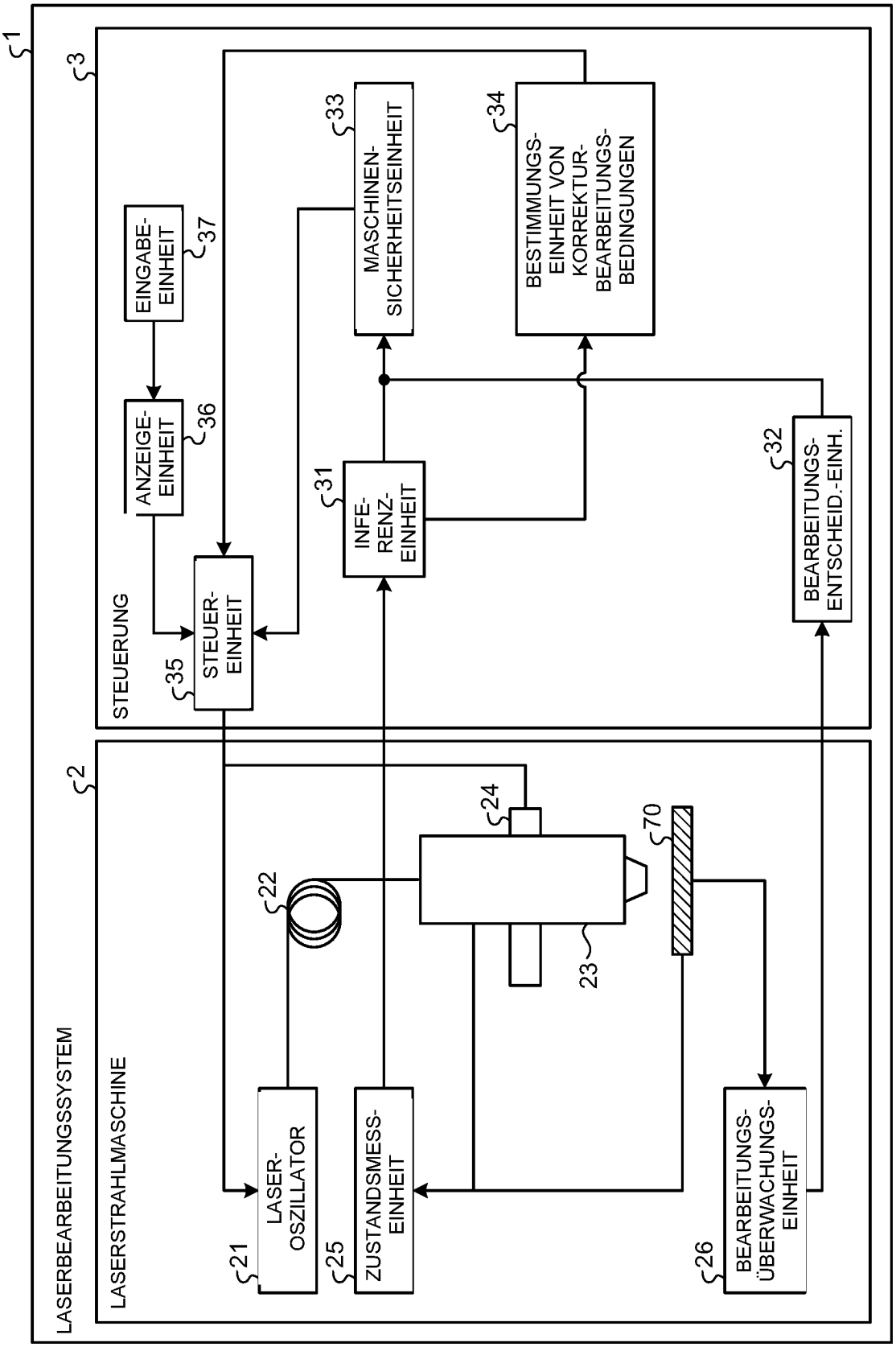


FIG.2

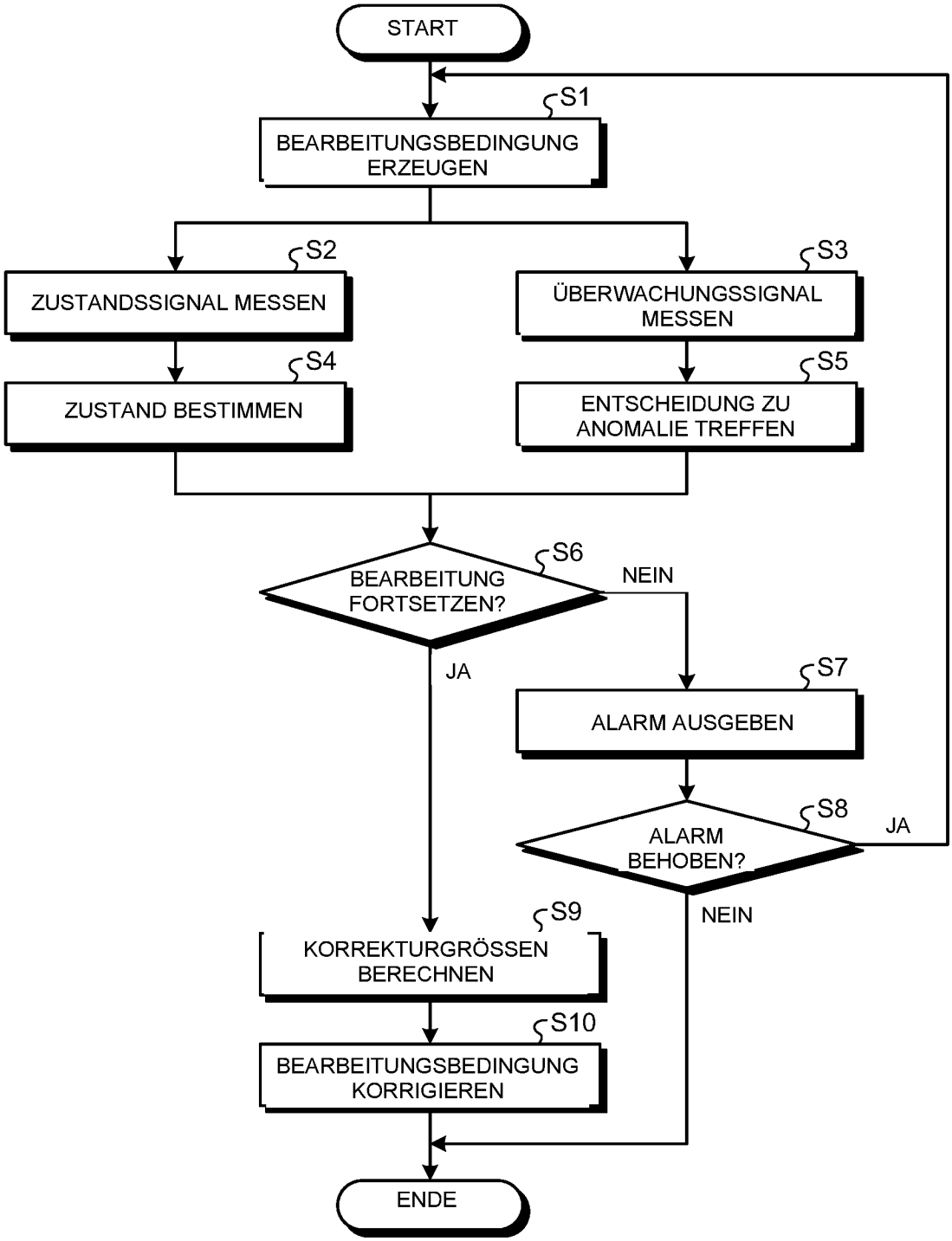

START
S1
BEARBEITUNGSBEDINGUNG ERZEUGEN
S2
ZUSTANDSSIGNAL MESSEN
S3
ÜBERWACHUNGSSIGNAL MESSEN
S4
ZUSTAND BESTIMMEN
S5
ENTSCHEIDUNG ZU ANOMALIE TREFFEN
S6
BEARBEITUNG FORTSETZEN?
NEIN
JA
S7
ALARM AUSGEBEN
S8
ALARM BEHOBEN?
JA
NEIN
S9
KORREKTURGRÖSSEN BERECHNEN
S10
BEARBEITUNGSBEDINGUNG KORRIGIEREN
ENDE

FIG.3

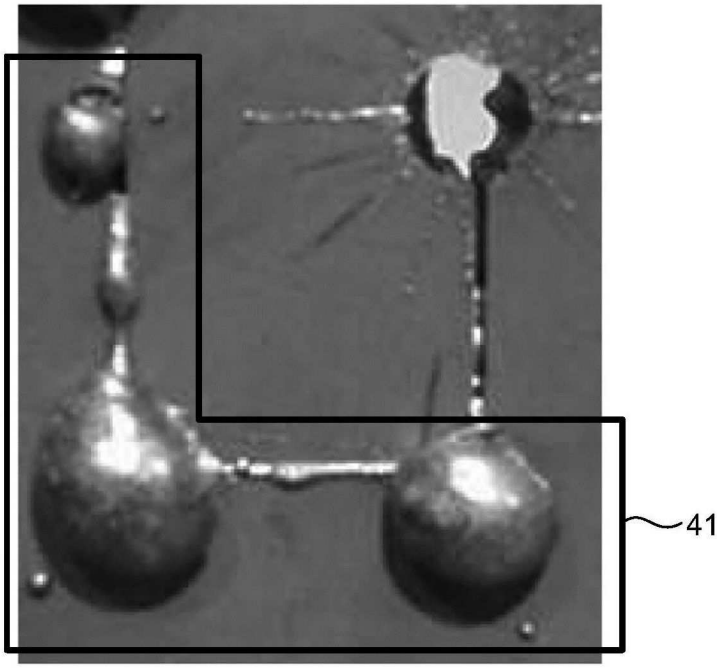



FIG.4

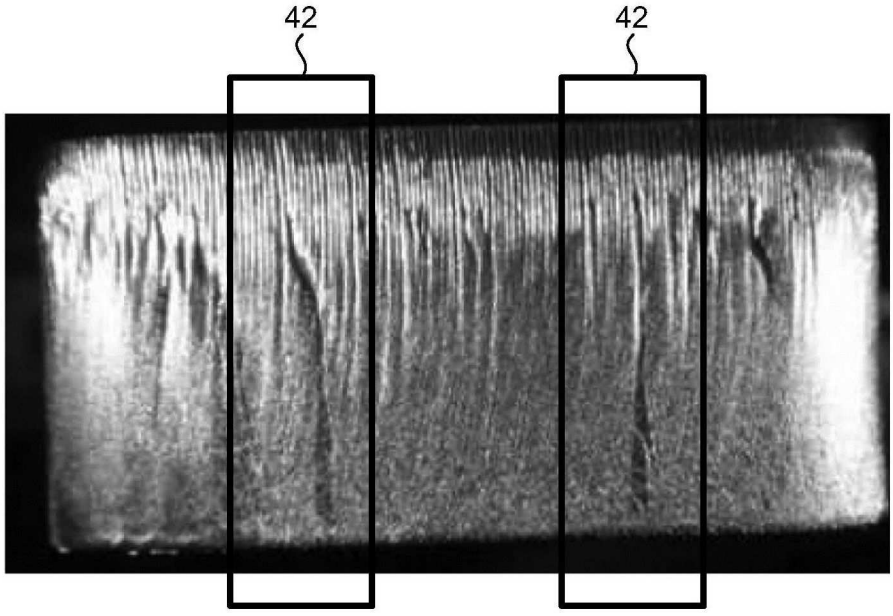


FIG.5

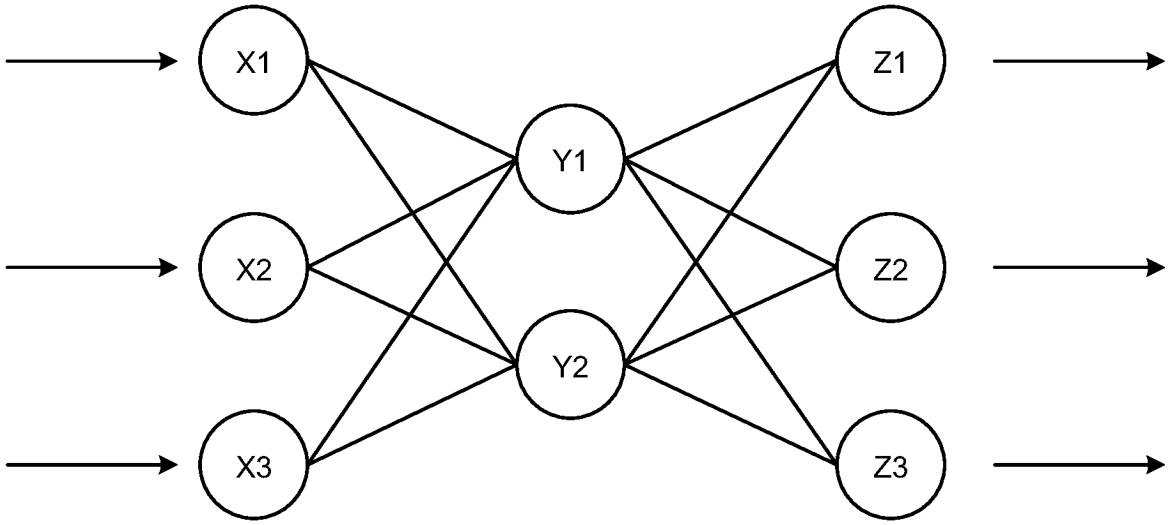

X1
X2
X3
Y1
Y2
Z1
Z2
Z3

FIG.6

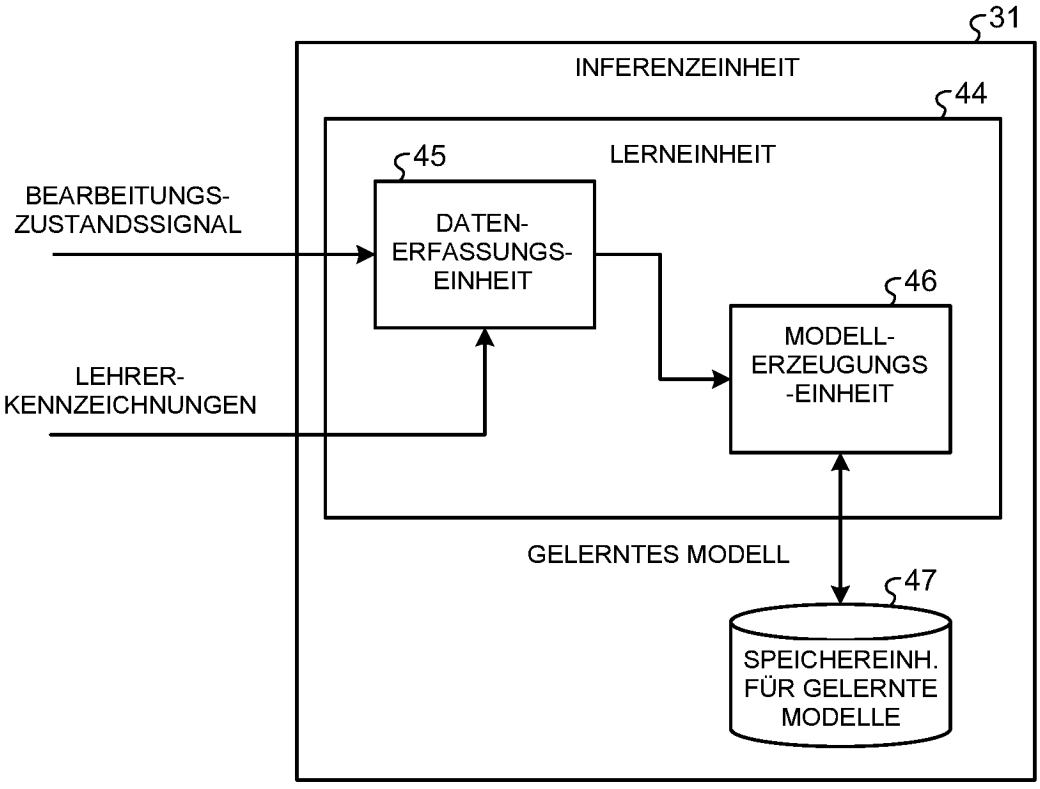

31
INFERENZEINHEIT
44
LERNEINHEIT
45
BEARBEITUNGS-
ZUSTANDSSIGNAL
DATEN-
ERFASSUNGS-
EINHEIT
46
MODELL-
ERZEUGUNGS
-EINHEIT
LEHRER-
KENNZEICHNUNGEN
GELERNTES MODELL
47
SPEICHEREINH.
FÜR GELERNTE
MODELLE

FIG.7

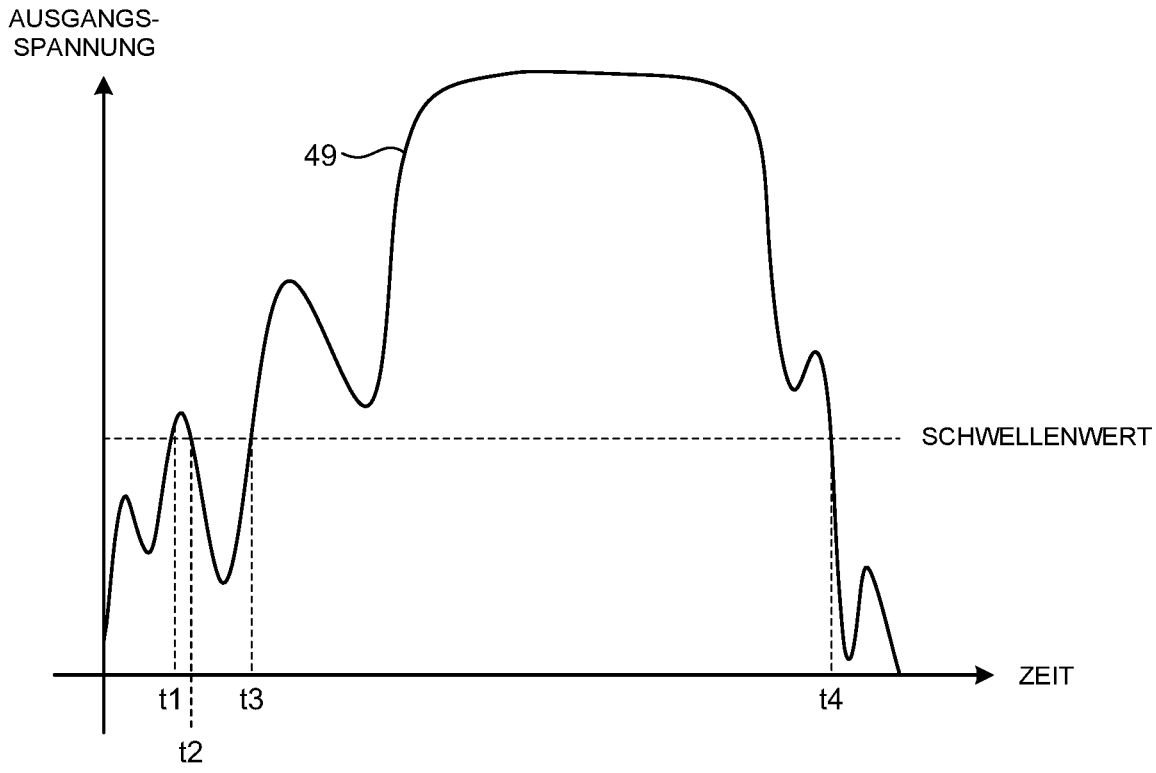


FIG.8

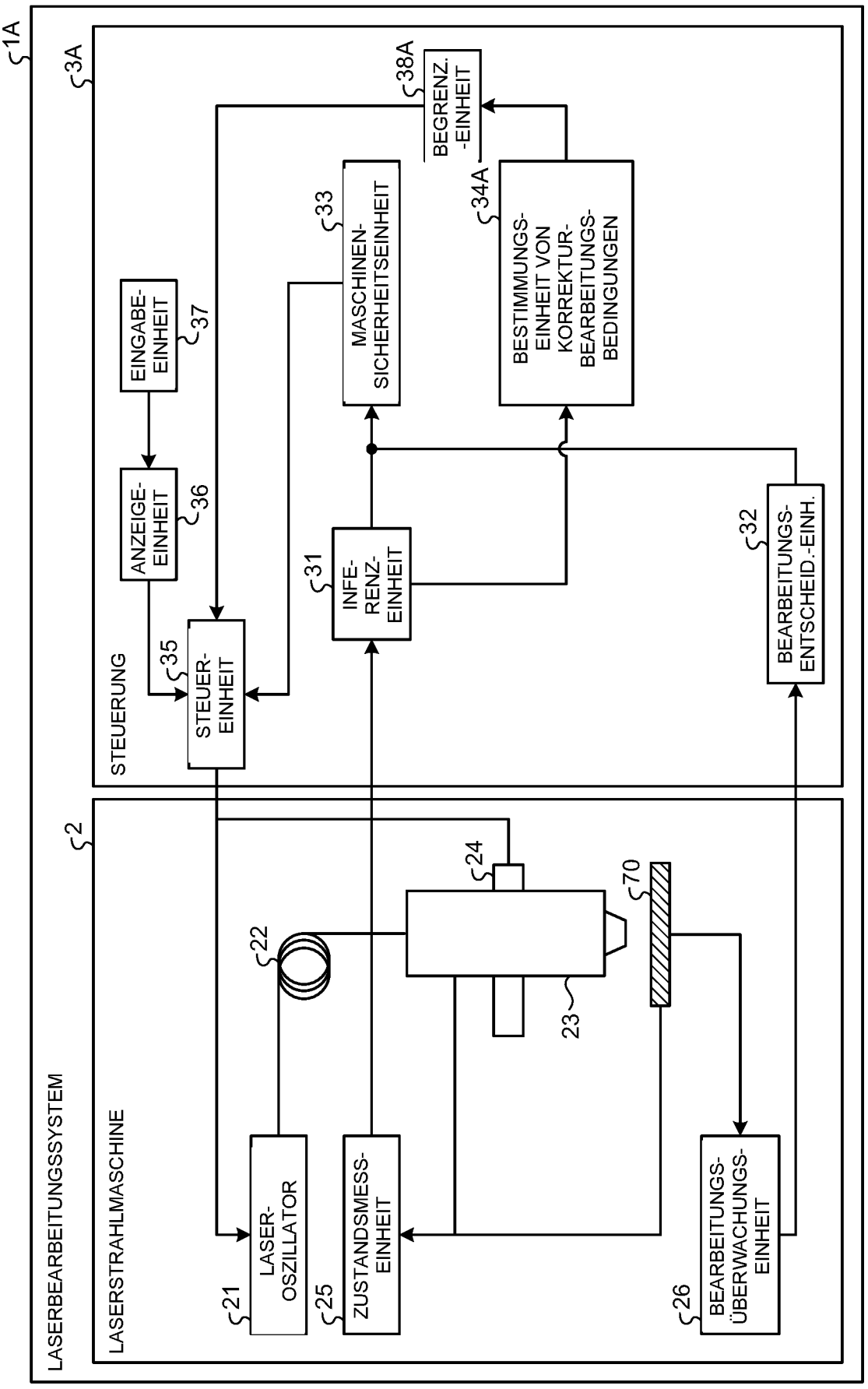

1A
LASERBEARBEITUNGSSYSTEM
3A
STEUERUNG
38A
BEGRENZ.-EINHEIT
34A
BESTIMMUNGS-EINHEIT VON KORREKTUR-BEARBEITUNGS-BEDINGUNGEN
33
MASCHINEN-SICHERHEITSEINHEIT
37
EINGABE-EINHEIT
36
ANZEIGE-EINHEIT
35
STEUER-EINHEIT
31
INFE-RENZ-EINHEIT
32
BEARBEITUNGS-ENTSCHEID.-EINH.
2
LASERSTRAHLMASCHINE
24
70
22
23
21
LASER-OSZILLATOR
25
ZUSTANDSMESS-EINHEIT
26
BEARBEITUNGS-ÜBERWACHUNGS-EINHEIT

FIG.9

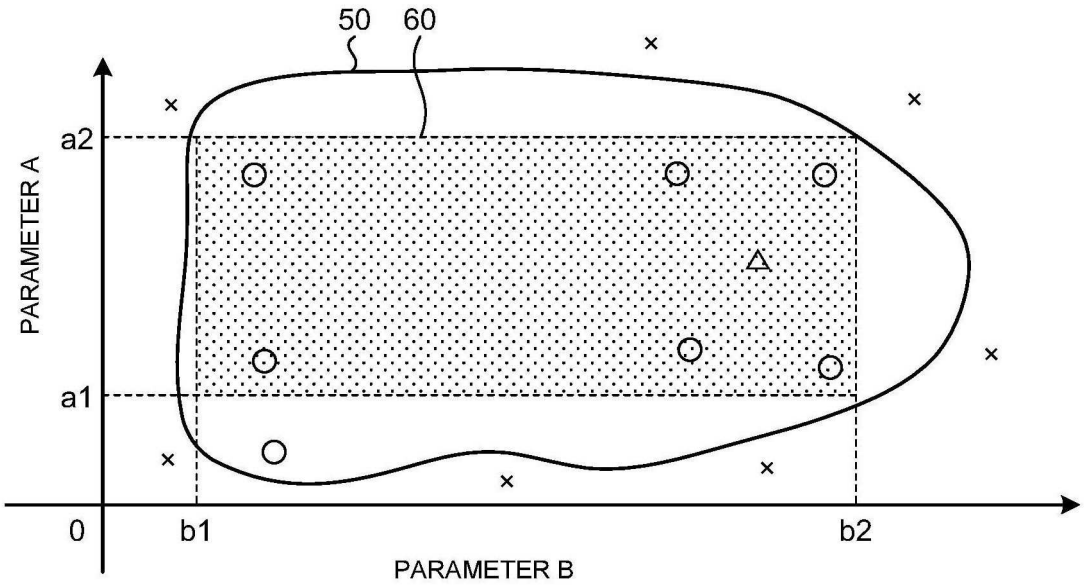


FIG.10

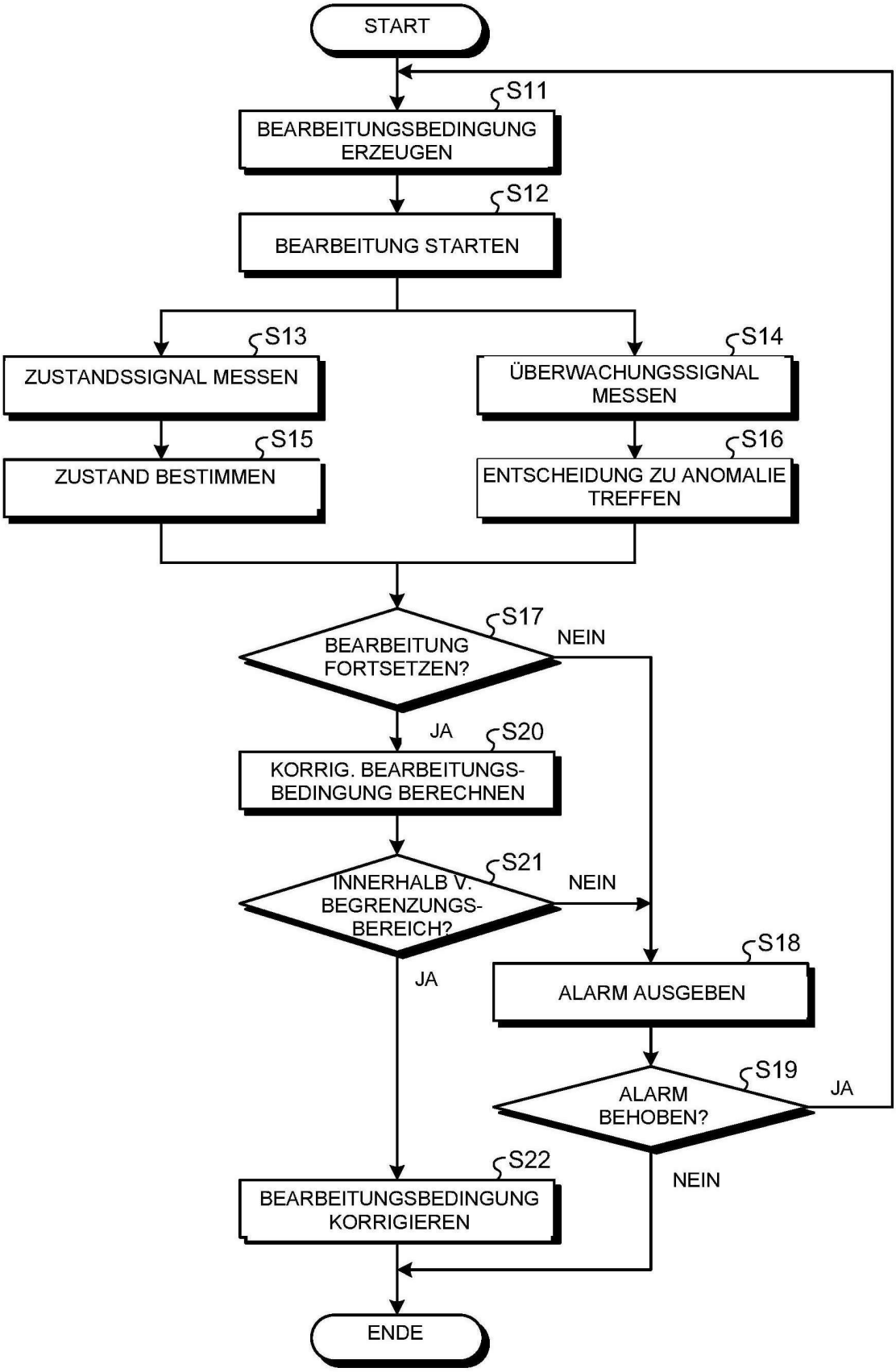

START
S11
BEARBEITUNGSBEDINGUNG ERZEUGEN
S12
BEARBEITUNG STARTEN
S13
ZUSTANDSSIGNAL MESSEN
S14
ÜBERWACHUNGSSIGNAL MESSEN
S15
ZUSTAND BESTIMMEN
S16
ENTSCHEIDUNG ZU ANOMALIE TREFFEN
S17
BEARBEITUNG FORTSETZEN?
NEIN
JA
S20
KORRIG. BEARBEITUNGS-BEDINGUNG BERECHNEN
S21
INNERHALB V. BEGRENZUNGS-BEREICH?
NEIN
JA
S18
ALARM AUSGEBEN
S19
ALARM BEHOBEN?
JA
NEIN
S22
BEARBEITUNGSBEDINGUNG KORRIGIEREN
ENDE

FIG.11

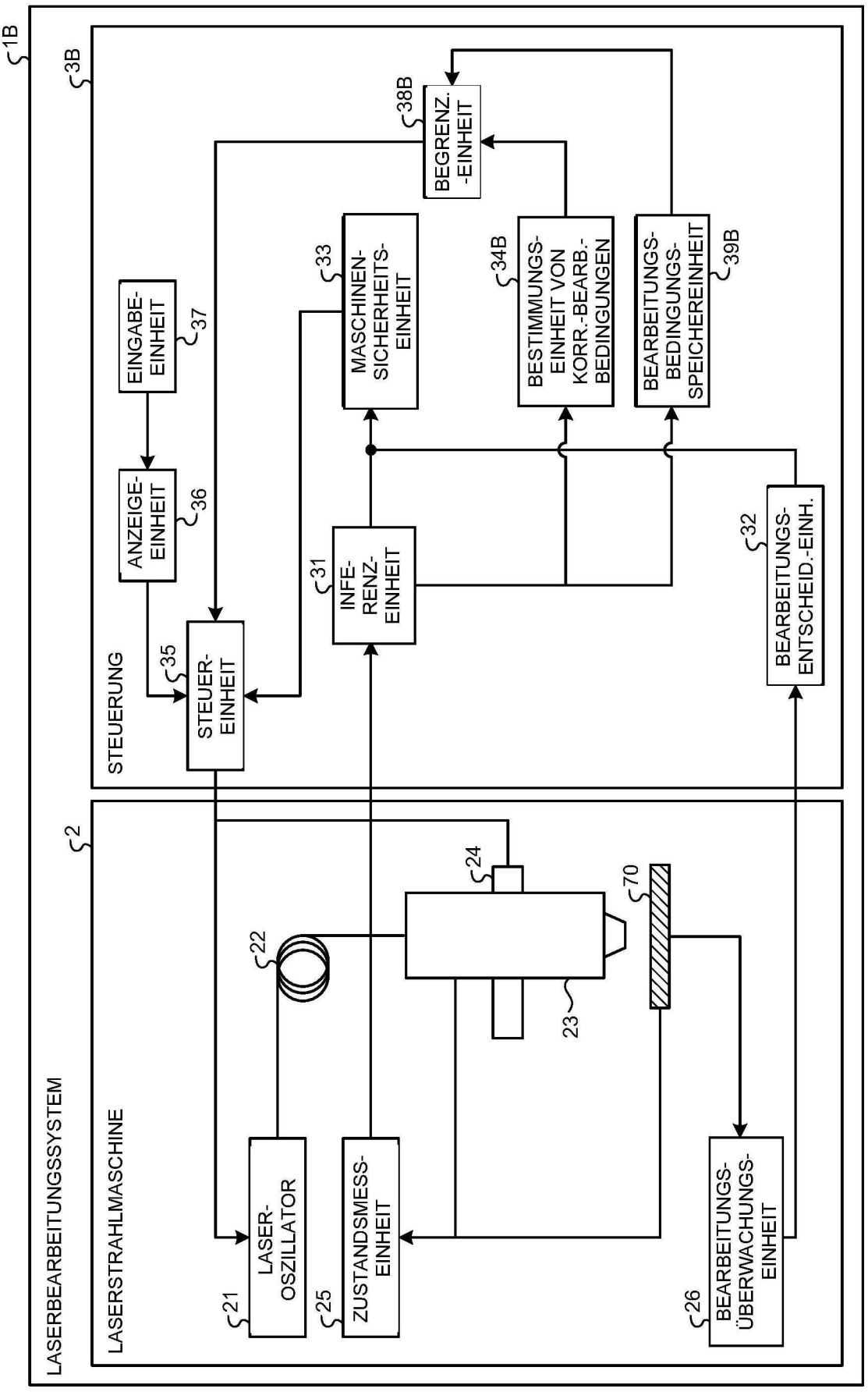

1B
LASERBEARBEITUNGSSYSTEM
3B
STEUERUNG
38B
BEGRENZ.-EINHEIT
33
MASCHINEN-SICHERHEITS-EINHEIT
34B
BESTIMMUNGS-EINHEIT VON KORR.-BEARB.-BEDINGUNGEN
39B
BEARBEITUNGS-BEDINGUNGS-SPEICHEREINHEIT
37
EINGABE-EINHEIT
36
ANZEIGE-EINHEIT
35
STEUER-EINHEIT
31
INFE-RENZ-EINHEIT
32
BEARBEITUNGS-ENTSCHEID.-EINH.
2
LASERSTRAHLMASCHINE
24
70
22
23
21
LASER-OSZILLATOR
25
ZUSTANDSMESS-EINHEIT
26
BEARBEITUNGS-ÜBERWACHUNGS-EINHEIT

FIG.12

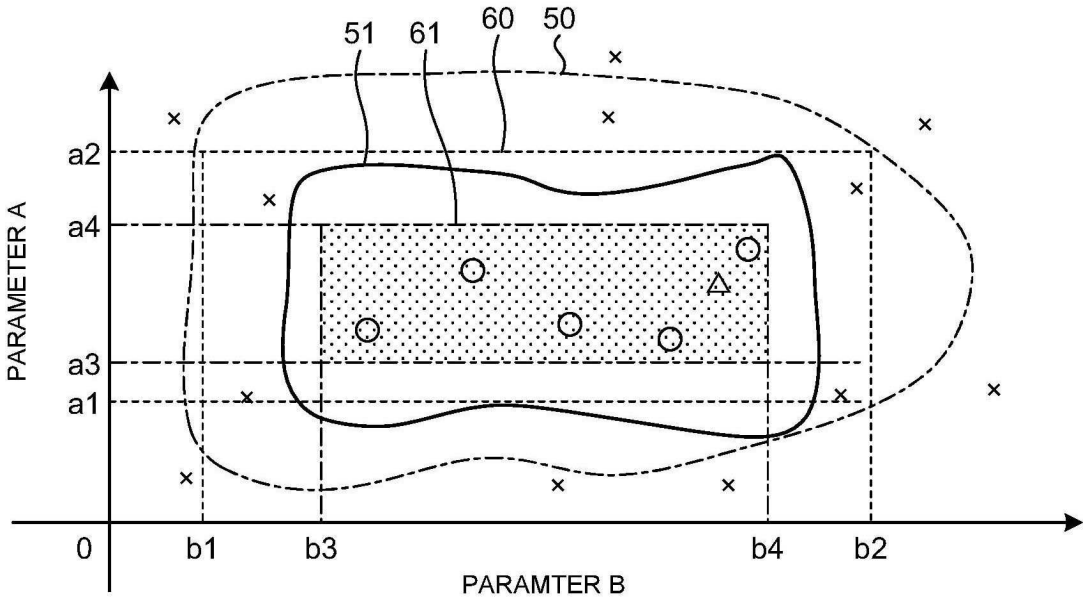


FIG.13

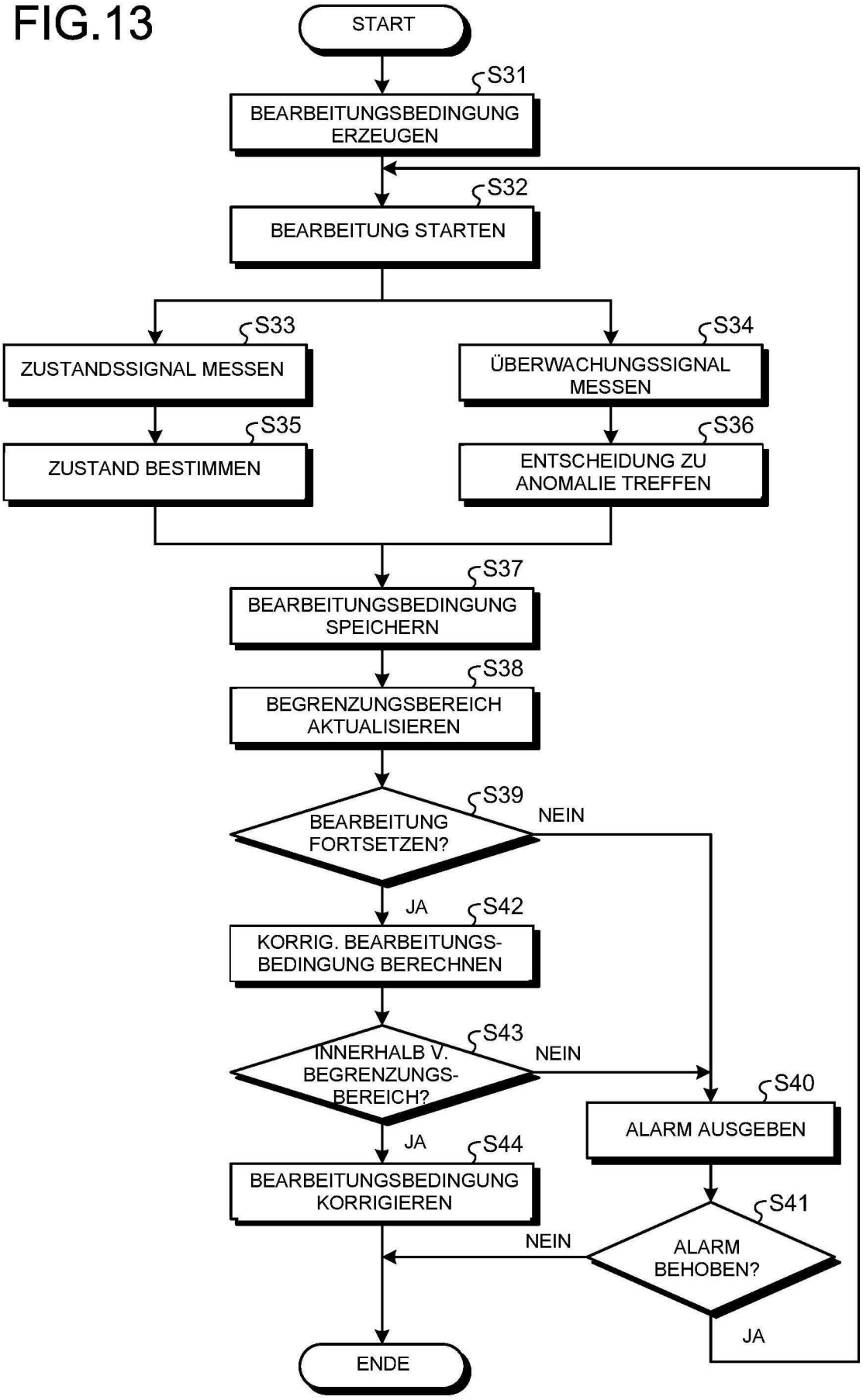

START
S31
BEARBEITUNGSBEDINGUNG ERZEUGEN
S32
BEARBEITUNG STARTEN
S33
ZUSTANDSSIGNAL MESSEN
S34
ÜBERWACHUNGSSIGNAL MESSEN
S35
ZUSTAND BESTIMMEN
S36
ENTSCHEIDUNG ZU ANOMALIE TREFFEN
S37
BEARBEITUNGSBEDINGUNG SPEICHERN
S38
BEGRENZUNGSBEREICH AKTUALISIEREN
S39
BEARBEITUNG FORTSETZEN?
NEIN
JA
S42
KORRIG. BEARBEITUNGS-BEDINGUNG BERECHNEN
S43
INNERHALB V. BEGRENZUNGS-BEREICH?
NEIN
JA
S44
BEARBEITUNGSBEDINGUNG KORRIGIEREN
S40
ALARM AUSGEBEN
S41
ALARM BEHOBEN?
NEIN
JA
ENDE

FIG.14

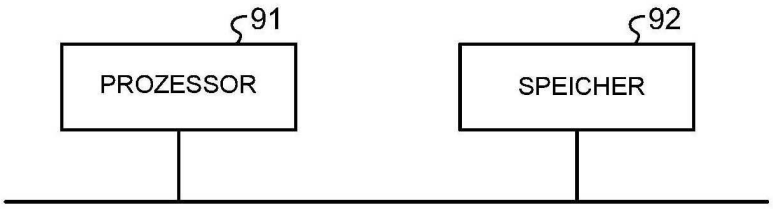
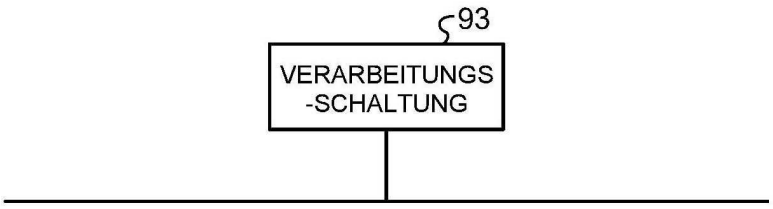



FIG.15




 Das Dokument wurde durch die Firma Luminess hergestellt.