



(10) **DE 11 2015 001 706 T5** 2017.01.05

(12) **Veröffentlichung**

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2015/156181**
in deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2015 001 706.2**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2015/060315**
(86) PCT-Anmeldetag: **01.04.2015**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **15.10.2015**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **05.01.2017**

(51) Int Cl.: **B23K 26/342** (2014.01)
B23K 26/00 (2014.01)
B23K 26/144 (2014.01)
F01D 5/28 (2006.01)
F01D 25/00 (2006.01)
F02C 7/00 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
2014-078909 **07.04.2014** **JP**

(71) Anmelder:
mitsubishi hitachi power systems, ltd.,
Yokohama-shi, Kanagawa, JP

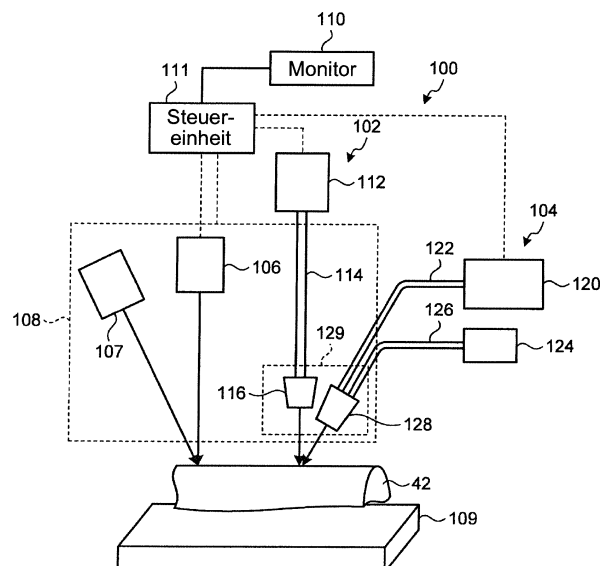
(74) Vertreter:
HOFFMANN - EITLE Patent- und Rechtsanwälte
PartmbB, 81925 München, DE

(72) Erfinder:
Okuda, Takehisa, Tokyo, JP; Machida, Motonari,
Tokyo, JP; Matsunami, Yasuo, Tokyo, JP

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Einrichtung zum Schweißplattieren, Verfahren zur Ausbildung eines Erosionsschutzes und Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel**

(57) Zusammenfassung: Es werden eine Einrichtung zum Schweißplattieren, ein Verfahren zur Ausbildung eines Erosionsschutzes und ein Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel bereitgestellt, zur Ausbildung eines Erosionsschutzes, der einen hohen Erosionswiderstand aufweist. Eine Einrichtung zum Schweißplattieren weist auf: einen Pulverzufuhrkopf, der eingerichtet ist, um abzulagerndes Metall, das für das Schweißplattieren verwendet wird, zuzuführen; einen Laserkopf, der eingerichtet ist, um einen Laserstrahl abzustrahlen; einen Liniennerzeuger, der eingerichtet ist, um einen Messlinienstrahl abzustrahlen; eine Bildgebungseinrichtung, die eingerichtet ist, um ein Bild des Messlinienstrahls aufzunehmen; einen Bewegungsmechanismus, der eingerichtet ist, um den Pulverzufuhrkopf und den Laserkopf relativ zu einem Basiskörper zu bewegen; und wenigstens eine Steuereinheit, die eingerichtet ist, um eine Relativposition des Laserkopfs zum Basiskörper durch den Bewegungsmechanismus zu bewegen, so dass ein Projektionsbild des Messlinienstrahls auf dem Basiskörper, das von der Bildgebungseinrichtung aufgenommen ist, eine bestimmte Position der Bildgebungseinrichtung überlappt, um eine Position, an der das Projektionsbild die bestimmte Position der Bildgebungseinrichtung überlappt, als eine Kopierposition festzulegen, um den Bewegungsmechanismus basierend auf der Kopierposition zu steuern, und um den Pulverzufuhrkopf und den Laserkopf relativ zum Basiskörper zu bewegen.



Beschreibung

Gebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Einrichtung zum Schweißplattieren, ein Verfahren zur Ausbildung eines Erosionsschutzes und ein Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel.

Hintergrund

[0002] Bei einer herkömmlichen Turbine (beispielsweise Dampfturbine), wird ein Rotor, der eine Drehwelle ist, von einem Gehäuse drehbar gelagert, sind Turbinenschaufeln an einem Außenumfangabschnitt des Rotors installiert, sind ferner Turbinenflügel an einer Innenwand des Gehäuses installiert und sind die mehreren Turbinenschaufeln und Turbinenflügel abwechselnd in einem Dampfdurchgang angeordnet. Ferner werden die Turbinenschaufeln und der Rotor durch einen Prozess, bei dem Dampf durch den Dampfdurchgang strömt, drehbar angetrieben.

[0003] Die Turbinenschaufel weist einen Schaufelfußabschnitt, der an einer Rotorscheibe des Rotors befestigt ist, eine Plattform, die mit dem Schaufelfußabschnitt integral ausgebildet ist, und einen Schaufelabschnitt auf, der einen Basisendabschnitt hat, der mit der Plattform verbunden ist, und sich zur Seite eines Vorderendabschnitts erstreckt. Ferner sind mehrere Turbinenschaufeln an ihren Basisenden an einem Außenumfangabschnitt der Rotorscheibe befestigt, so dass sie in einer Umfangsrichtung derselben in einer Reihe angeordnet sind.

[0004] Beispielsweise drehen sich die Turbinenschaufeln der Dampfturbine in einem Weg, durch den Dampf strömt. Diesbezüglich weist der Dampf in der Nähe einer letzten Stufe einer Niedrigdruck-Dampfturbine eine große Menge kleiner Wassertröpfchen auf. Folglich wird ein vorderer Kantenabschnitt eines Schaufelvorderendes aufgrund der Erosion dünner, die durch einen Aufprall der Wassertröpfchen mit hoher Geschwindigkeit bewirkt wird.

[0005] Als eine Maßnahme gegen eine solche Erosion ist beispielsweise ein Verfahren zur Ausbildung eines Erosionsschutzes am vorderen Kantenabschnitt des Vorderendes der Turbinenschaufel bekannt, wie es beispielsweise in der Patentliteratur 1 und Patentliteratur 2 offenbart ist. Gemäß der Patentliteratur 1 wird ein Erosionsschutz durch Aufbringen einer Plattierung mittels Lichtbogenplasmaschweißen ausgebildet. Ferner offenbart die Patentliteratur 2 eine Technologie, bei der Pulver eines harten Materials durch eine hochdichte Energiebestrahlung (mit einem Laser oder Elektronenstrahl) geschmolzen wird, um eine harte Schicht durch Schweißplattieren auszubilden, und es wird ein Erosionsvermeidungsabschnitt (Erosionsschutz) durch lokales Ersetzen ei-

nes Teils eines Elements mit der harten Schicht bereitgestellt.

Zitatliste

Patentliteraturen

[0006]

Patentliteratur 1: Japanisches offengelegtes Patent Veröffentlichungsnummer 10-280907

Patentliteratur 2: Japanisches offengelegtes Patent Veröffentlichungsnummer 2012-86241

Zusammenfassung

Technisches Problem

[0007] Im Fall der Ausbildung eines Erosionsschutzes durch Bogenschweißen, wie es in der Patentliteratur 1 offenbart ist, kann ein Fall auftreten, bei dem ein Defekt erzeugt wird oder die Härte unzureichend ist. Die Leistung des Erosionsschutzes kann verbessert werden durch Ausbilden eines Erosionsschutzes mittels einer Plattierungsbearbeitung durch Laserschweißen, wie es in der Patentliteratur 2 offenbart ist. Allerdings kann bei der Bearbeitung, die in der Patentliteratur 2 offenbart ist, ein Fall auftreten, bei dem sich ein Erosionsschutz von einem Schaufelhauptkörper trennen oder beschädigt werden kann.

[0008] Die vorliegende Erfindung wird bereitgestellt, um die oben beschriebenen Probleme zu lösen, und sie zielt darauf ab, eine Einrichtung zum Schweißplattieren zur Ausbildung eines Erosionsschutzes, der einen hohen Widerstand gegen Erosion aufweist, und ein Verfahren zur Ausbildung eines Erosionsschutzes und ein Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel bereitzustellen.

Lösung des Problems

[0009] Gemäß einer Ausführungsform wird eine Einrichtung zum Schweißplattieren zum Schweißen von abzulagerndem Metall bereitgestellt, die einen Erosionsschutz an einem Basiskörper einer Turbinenschaufel durch Schweißplattieren ausbildet, wobei die Einrichtung zum Schweißplattieren aufweist: einen Pulverzufuhrkopf, der eingerichtet ist, um das abzulagernde Metall, das für das Schweißplattieren verwendet wird, zuzuführen; einen Laserkopf, der eingerichtet ist, um einen Laserstrahl abzustrahlen; einen Liniennerzeuger, der eingerichtet ist, um einen Messlinienstrahl abzustrahlen; eine Bildgebungseinrichtung, die eingerichtet ist, um ein Bild des Messlinienstrahls aufzunehmen; einen Bewegungsmechanismus, der eingerichtet ist, um den Pulverzufuhrkopf und den Laserkopf relativ zum Basiskörper zu bewegen; und wenigstens eine Steuereinheit, die eingerichtet ist, um eine Relativposition des Laserkopfs zum Basiskörper durch den Bewegungsmechanismus

mus zu bewegen, so dass ein Projektionsbild des Messlinienstrahls auf dem Basiskörper, das von der Bildgebungseinrichtung aufgenommen ist, eine bestimmte Position der Bildgebungseinrichtung überlappt, um eine Position, an der das Projektionsbild die bestimmte Position der Bildgebungseinrichtung überlappt, als eine Kopierposition festzulegen, um den Bewegungsmechanismus basierend auf der Kopierposition zu steuern, und um den Pulverzufuhrkopf und den Laserkopf relativ zum Basiskörper zu bewegen.

[0010] Vorzugsweise ist die wenigstens eine Steuereinheit ferner eingerichtet, um die Kopierposition basierend auf einer Differenz zwischen der Relativposition des Pulverzufuhrkopfs zur Bildgebungseinrichtung und der Relativposition des Laserkopfs zur Bildgebungseinrichtung einzustellen.

[0011] Vorzugsweise ist die wenigstens eine Steuereinheit ferner eingerichtet, um den Bewegungsmechanismus mehrmals auf einem Weg in einer Längsrichtung einer Vorderseite des Basiskörpers zu bewegen, und wobei die Dichte der Kopierposition pro Weg in der Nähe eines Startpunkts des Wegs hoch ist und in der Nähe eines Endpunkts des Wegs grob bzw. gering ist.

[0012] Vorzugsweise ist die wenigstens eine Steuereinheit ferner eingerichtet, um eine Position, an der das Projektionsbild die bestimmte Position der Bildgebungseinrichtung überlappt, als Kopierposition festzulegen, wenn die bestimmte Position eine Linie ist.

[0013] Gemäß einer Ausführungsform wird ein Erosionsschutzausbildungsverfahren zum Ausbilden eines Erosionsschutzes an wenigstens einem Teil einer Vorderseite und einer Schaufelfläche eines Schaufelkörpers bereitgestellt, wobei das Erosionsschutzausbildungsverfahren aufweist: einen Schritt zur Ausbildung einer Grenze durch Entfernen wenigstens eines Teils einer Vorderseite und einer Endfläche eines Basiskörpers, der eine Turbinenschaufel ausbildet; einen Kopierschritt zur Durchführung eines Kopiervorgangs einer Arbeitsposition; einen Plattierungsbearbeitungsschritt zur Ausbildung eines Plattierungsabschnitts auf der Grenze durch Laserschweißen basierend auf der Kopierposition, die durch den Kopiervorgang erhalten wurde; und einen Schritt zur Durchführung einer Endbearbeitung zur Entfernung eines Teils des Plattierungsabschnitts und eines Abschnitts überschüssiger Dicke des Basiskörpers, wobei im Kopierschritt ein Messlinienstrahl auf den Basiskörper abgestrahlt wird, ein Projektionsbild, das durch Projizieren des Messlinienstrahls auf den Basiskörper erhalten wird, an einer festen Position aufgenommen wird, und eine Überlappungsposition zwischen dem Projektionsbild und einer bestimmten Position als eine Kopierposition

festgelegt wird, basierend auf einer Position des ermittelten Projektionsbilds, und im Plattierungsschritt der Bewegungsmechanismus basierend auf der Kopierposition gesteuert wird und ein Pulverzufuhrkopf und ein Laserkopf relativ zum Basiskörper bewegt werden.

[0014] Vorzugsweise wird im Kopierschritt die Kopierposition basierend auf einer Differenz zwischen der Relativposition des Pulverzufuhrkopfs zur Bildgebungseinrichtung und der Relativposition des Laserkopfs zur Bildgebungseinrichtung eingestellt.

[0015] Vorzugsweise wird im Plattierungsschritt der Bewegungsmechanismus mehrmals auf einem Weg in einer Längsrichtung der Vorderseite des Basiskörpers bewegt, und wobei im Kopierschritt die Dichte der Kopierposition pro Weg in der Nähe eines Startpunkts des Wegs hoch ist und in der Nähe eines Endpunkts des Wegs grob bzw. gering ist.

[0016] Vorzugsweise ist die bestimmte Position der Bildgebungseinrichtung eine Linie und wird im Kopierschritt eine Position, an der das Projektionsbild die Linie der bestimmten Position überlappt, als die Kopierposition festgelegt.

[0017] Gemäß einer Ausführungsform wird ein Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel bereitgestellt, das aufweist: einen Basiskörperherstellungsschritt zum Ausformen eines Basiskörpers, der einen Abschnitt überschüssiger Dicke an einer Turbinenschaufel aufweist; und einen Schritt zur Ausbildung eines Erosionsschutzes an dem Schaufelkörper gemäß dem obigen Erosionsschutzausbildungsverfahren.

Vorteilhafte Wirkungen der Erfindung

[0018] Da das Schweißplattieren basierend auf einem Resultat eines Kopiervorgangs durchgeführt wird, kann gemäß der Erfindung ein unvollständiges Verschmelzen unterbunden werden, und somit kann ein qualitativ hochwertiger Erosionsschutz erhalten werden. Folglich ist es möglich, den Erosionswiderstand zu verbessern.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0019] Fig. 1 ist eine schematische strukturelle Darstellung, die eine Dampfturbine, die eine Turbinenschaufel aufweist, zeigt.

[0020] Fig. 2 ist eine perspektivische Ansicht, die eine schematische Struktur einer Ausführungsform der Turbinenschaufel darstellt.

[0021] Fig. 3 ist eine Querschnittansicht, die entlang A-A in Fig. 2 genommen ist.

[0022] Fig. 4 ist eine erläuternde graphische Darstellung zur Beschreibung einer Form und eines Verfahrens zur Ausbildung eines Erosionsschutzes.

[0023] Fig. 5 ist ein Flussdiagramm, das ein beispielhaftes Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel darstellt.

[0024] Fig. 6 ist eine schematische graphische Darstellung, die ein beispielhaftes Verfahren zur Ausbildung eines Erosionsschutzes des Verfahrens zur Herstellung einer Turbinenschaufel darstellt.

[0025] Fig. 7 ist eine schematische graphische Darstellung, die eine schematische Struktur einer Einrichtung zum Schweißplattieren darstellt.

[0026] Fig. 8 ist eine vergrößerte Ansicht, welche die schematische Struktur der Einrichtung zum Schweißplattieren darstellt.

[0027] Fig. 9 ist eine Vorderansicht, die den schematischen Aufbau eines Zufuhrkopfs darstellt.

[0028] Fig. 10 ist ein Flussdiagramm, das einen beispielhaften Bearbeitungsablauf des Schweißplattierens darstellt.

[0029] Fig. 11 ist ein Flussdiagramm, das einen beispielhaften Bearbeitungsablauf des Schweißplattierens darstellt.

[0030] Fig. 12 ist eine erläuternde graphische Darstellung zur Beschreibung eines beispielhaften Bearbeitungsablaufs des Schweißplattierens.

[0031] Fig. 13 ist eine erläuternde graphische Darstellung zur Beschreibung eines beispielhaften Bearbeitungsablaufs des Schweißplattierens.

Beschreibung von Ausführungsformen

[0032] Im Folgenden wird eine bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung im Detail mit Bezug auf die begleitenden Zeichnungen beschrieben. Die Erfindung ist nicht auf die Ausführungsformen beschränkt. Wenn mehrere Ausführungsformen vorliegen, kann eine Kombination der Ausführungsformen angewendet werden.

[0033] Fig. 1 ist eine schematische strukturelle Darstellung, die eine Dampfturbine, die mit Turbinenschaufeln vorgesehen ist, gemäß der vorliegenden Ausführungsform zeigt. Im Folgenden wird ein Überblick einer Struktur einer Dampfturbine 1 gemäß der vorliegenden Ausführungsform mit Bezug auf Fig. 1 gegeben.

[0034] Wie es in Fig. 1 dargestellt ist, weist ein Gehäuse 11 der Dampfturbine 1 eine Hohlform auf und

wird ein Rotor 12 als eine Drehwelle von mehreren Lagern 13 drehbar gelagert. Turbinenschaufeln 15 und Turbinenflügel 16 sind in dem Gehäuse 11 angeordnet. Es sind mehrere Turbinenschaufeln 15 in einer Reihe angeordnet und befestigt, in einer Umfangsrichtung eines Außenumfangs einer scheibenförmigen Rotorscheibe 14, die an dem Rotor 12 ausgebildet ist. Es sind mehrere Turbinenflügel 16 in einer Reihe angeordnet und an einer Innenwand des Gehäuses 11 in einer Umfangsrichtung desselben befestigt. Diese Turbinenschaufeln 15 und Turbinenflügel 16 sind in einer Axialrichtung des Rotors 12 abwechselnd angeordnet.

[0035] In dem Gehäuse 11 sind die oben beschriebenen Turbinenschaufeln 15 und Turbinenflügel 16 angeordnet, und es ist ein Dampfdurchgang 17, durch den Dampf tritt, ausgebildet. In dem Dampfdurchgang 17 ist eine Dampfzufuhröffnung 18 als eine Einlassöffnung, durch die Dampf zugeführt wird, ausgebildet, und es ist eine Dampfabgabeöffnung 19 als eine Auslassöffnung zur Abgabe des Dampfs ausgebildet.

[0036] Als Nächstes wird ein Überblick über die Funktionsweise der Dampfturbine 1 mit Bezug auf Fig. 1 gegeben. Dampf, der von der Dampfzufuhröffnung 18 der Dampfturbine 1 in den Dampfdurchgang 17 zugeführt wird, dehnt sich in einem Prozess aus, in dem dieser an den Turbinenflügeln 16 vorbeiströmt, und wird zu einem Dampfstrom mit hoher Geschwindigkeit. Der Dampfstrom mit hoher Geschwindigkeit, der an den Turbinenflügeln 16 vorbeigeströmt ist, wird gegen die Turbinenschaufeln 15 geblasen und setzt die mehreren Turbinenschaufeln 15 und den Rotor 12, an dem die Turbinenschaufeln 15 angebracht sind, in Drehung. Beispielsweise ist ein Generator oder dergleichen mit dem Rotor 12 verbunden, und der Generator wird durch Drehung des Rotors 12 zur Erzeugung von Leistung angetrieben. Der Dampf, der durch einen Abschnitt in dem Dampfdurchgang 17 getreten ist, der mit den Turbinenflügeln 16 und den Turbinenschaufeln 15 vorgesehen ist, wird aus der Dampfabgabeöffnung 19 abgegeben.

[0037] Fig. 2 ist ein schematisches Diagramm, das die Turbinenschaufel gemäß der vorliegenden Ausführungsform darstellt. Fig. 3 ist eine Querschnittansicht, die entlang A-A in Fig. 2 genommen ist. Eine Struktur der Turbinenschaufel 15 der vorliegenden Ausführungsform wird mit Bezug auf die Fig. 2 und Fig. 3 beschrieben. Wie es in Fig. 2 dargestellt ist, weist die Turbinenschaufel 15 einen Schaufelfußabschnitt 21, eine Plattform 22 und einen Schaufelabschnitt 23 auf. Der Schaufelfußabschnitt 21 ist in der Rotorscheibe 14 eingebettet, und die Turbinenschaufel 15 ist an der Rotorscheibe 14 befestigt. Die Plattform 22 ist ein gekrümmtes plattenförmiges Objekt, das integral mit dem Schaufelfußabschnitt 21 ausge-

bildet ist. Der Schaufelabschnitt **23** weist einen Basisendabschnitt, der an der Plattform **22** befestigt ist, und einen Vorderendabschnitt auf, der sich zur Innenwandseite des Gehäuses **11** erstreckt. Der Schaufelabschnitt **23** kann in einer Schaufellängsrichtung verdreht sein. Ferner kann die Turbinenschaufel **15** eine Verstärkung aufweisen, die an dem Vorderendabschnitt des Schaufelabschnitts **23** befestigt ist. Die Verstärkung ist ein Element, das vorgesehen ist, um mit einer Verstärkung einer benachbarten Turbinenschaufel **15** in Kontakt zu stehen, um die Turbinenschaufel **15** zu befestigen, oder sie ist vorgesehen, um Schwingungen der Turbinenschaufel **15** zu unterdrücken.

[0038] In der Turbinenschaufel **15** ist ein Erosionsschutz **25** an einem Teil einer Fläche eines Schaufelhauptkörpers **24** ausgebildet, wie es in den **Fig. 2** und **Fig. 3** dargestellt ist. Der Erosionsschutz **25** ist an einem vorderen Kantenabschnitt ausgebildet, der einer stromaufwärts gelegenen Seite des Dampfstroms, der die Turbinenschaufel **15** in Drehung versetzt, entspricht, das heißt, an einem Vorderende **26** und einem Teil einer Schaufelfläche **27** an der Seite des Vorderendes **26**. Eine Grenzlinie zwischen dem Schaufelhauptkörper **24** und dem Erosionsschutz **25** ist eine Grenze **28**. Der Erosionsschutz **25** kann in einem bestimmten Bereich an einer Seite vorgesehen sein, die von der Plattform **22** in einer Erstreckungsrichtung der Turbinenschaufel **15** beabstandet ist, das heißt, in einer Richtung des Schaufelabschnitts **23** von der Plattform **22** weg. In anderen Worten, es ist möglich, dass der Erosionsschutz nur in einem Teil ausgebildet ist, der während der Drehung an einer radialen Außenseite angeordnet ist. Als Erosionsschutz **25** kann beispielsweise eine auf Kobalt basierende Legierung mit einer hohen Verschleißfestigkeit verwendet werden, wie beispielsweise Stellite (eingetragene Marke), das hauptsächlich Kobalt enthält. Der Erosionsschutz **25** kann durch eine Plattierungsbearbeitung durch Laserschweißen (Schweißplattieren) auf der Oberfläche des Schaufelhauptkörpers **24** ausgebildet werden, mit einem Zielmaterial (beispielsweise Stellite (eingetragene Marke)). Ferner ist der Schaufelhauptkörper **24** aus einer auf Chrom basierenden Legierung oder dergleichen ausgebildet.

[0039] Als Nächstes wird eine detailliertere Form des Erosionsschutzes, ein Verfahren zur Ausbildung eines Erosionsschutzes und ein Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel mit Bezug auf die **Fig. 4** bis **Fig. 13** beschrieben. **Fig. 4** ist eine erläuternde graphische Darstellung zur Beschreibung der Form und des Verfahrens zur Ausbildung des Erosionsschutzes. **Fig. 5** ist ein Flussdiagramm, das ein beispielhaftes Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel darstellt. **Fig. 6** ist ein schematisches Diagramm, das ein beispielhaftes Verfahren zur Ausbildung eines Erosionsschutzes des Verfahrens zur Herstellung einer Turbinenschaufel darstellt. **Fig. 7**

ist ein schematisches Diagramm, das eine schematische Struktur einer Einrichtung zum Schweißplattieren darstellt. **Fig. 8** ist eine vergrößerte Ansicht, die eine schematische Struktur der Einrichtung zum Schweißplattieren darstellt. **Fig. 9** ist eine Vorderansicht, die einen schematischen Aufbau eines Zufuhrkopfs darstellt. **Fig. 10** ist ein Flussdiagramm, das einen beispielhaften Bearbeitungsablauf des Schweißplattierens darstellt. **Fig. 11** ist ein Flussdiagramm, das einen beispielhaften Bearbeitungsablauf des Schweißplattierens darstellt. **Fig. 12** und **Fig. 13** sind erläuternde graphische Darstellungen zur Beschreibung eines beispielhaften Bearbeitungsablaufs des Schweißplattierens.

[0040] Wie es in **Fig. 4** dargestellt ist, wird in der Turbinenschaufel **15** eine Nut zur Ausbildung einer Grenzfläche **28** ausgebildet, zur Ausbildung des Erosionsschutzes **25** in einem Basiskörper **40** für den Schaufelhauptkörper **24**. Danach wird ein Material für den Erosionsschutz **25** durch die Plattierungsbearbeitung an der Grenze **28** ausgebildet, und anschließend werden eine überschüssige Dicke an einem Abschnitt, der durch die Plattierungsbearbeitung ausgebildet ist, und eine überschüssige Dicke des Basiskörpers **40** entfernt, wodurch das Vorderende **26**, die Schaufel **27** und eine Fläche gegenüber der Schaufel **27** ausgebildet werden.

[0041] Hierbei wird die Grenze **28** in einer Form ausgebildet, die sich der Fläche gegenüber der Schaufelfläche **27** annähert, mit Verlauf der Position von einem Endabschnitt auf der Schaufelfläche **27** zu einem Endabschnitt des Vorderendes **26**. Ferner ist die Grenze **28** so ausgebildet, dass diese aufweist: eine gekrümmte Fläche (erste gekrümmte Fläche) R1, die in dem Endabschnitt auf der Seite der Schaufelfläche **27** angeordnet ist, die zur Innenseite des Schaufelhauptkörpers **24** konvex ist; eine gekrümmte Fläche (zweite gekrümmte Fläche) R2, die näher an der Seite des Vorderendes **26** als die erste gekrümmte Fläche R1 vorgesehen ist und zur Außenseite des Schaufelhauptkörpers **24** konvex ist; eine gekrümmte Fläche (dritte gekrümmte Fläche) R3, die näher an der Seite des Vorderendes **26** als die zweite gekrümmte Fläche R2 vorgesehen ist und zur Außenseite des Schaufelhauptkörpers **24** konvex ist; und eine gerade Linie, die zwischen der dritten gekrümmten Fläche R3 und der Fläche gegenüber der Schaufelfläche **27** vorgesehen ist. Bezüglich der Grenze **28** der vorliegenden Ausführungsform sind die erste gekrümmte Fläche R1, die zweite gekrümmte Fläche R2 und die dritte gekrümmte Fläche R3 sanft bzw. gleichmäßig verbunden. Ferner ist bezüglich der Grenze **28** der vorliegenden Ausführungsform ein Krümmungsradius der ersten gekrümmten Fläche R1 kleiner als ein Krümmungsradius der zweiten gekrümmten Fläche R2. Ferner ist bezüglich der Grenze **28** ein Krümmungsradius der dritten gekrümmten Fläche R3 klei-

ner als der Krümmungsradius der ersten gekrümmten Fläche R1.

[0042] Als ein Beispiel der Form der Turbinenschaufel **15** der vorliegenden Ausführungsform beträgt der Krümmungsradius der ersten gekrümmten Fläche R1 6,5 mm, beträgt der Krümmungsradius der zweiten gekrümmten Fläche R2 10,0 mm und beträgt der Krümmungsradius der dritten gekrümmten Fläche R3 2,5 mm.

[0043] Bezüglich der Grenze **28** beträgt ein Abstand d1 von einem Kontaktpunkt zwischen der zweiten gekrümmten Fläche R2 und der dritten gekrümmten Fläche R3 zur Fläche gegenüber der Schaufelfläche **27** 2,3 mm, und beträgt ein Abstand d2 der geraden Linie, vorgesehen zwischen der dritten gekrümmten Fläche R3 und der Fläche gegenüber der Schaufelfläche **27**, 0,7 mm. Bezüglich der Turbinenschaufel **15** beträgt ein Abstand d3 von der Schaufelfläche **27** zu einem Kontaktpunkt zwischen der ersten gekrümmten Fläche R1 und der zweiten gekrümmten Fläche R2 0,8 mm. Bezüglich des Basiskörpers **40** betragen Abstände d4 und d5 zwischen einer Fläche, die der Schaufelfläche **27** zugewandt ist, und der Schaufelfläche **27** 1,0 mm. Ein Abstand d6 zwischen einer Fläche des Basiskörpers **40**, die der Fläche gegenüber der Schaufelfläche **27** zugewandt ist, und der Fläche gegenüber der Schaufelfläche **27** der Turbinenschaufel **15** beträgt 2,0 mm.

[0044] Ferner beträgt bezüglich des Basiskörpers **40** ein Abstand L1 von einem Endabschnitt an der Seite des Vorderendes **26** zum Endabschnitt der Grenze **28** an der Seite der Schaufelfläche **27** 12,5 mm und beträgt ein Abstand L2 vom Endabschnitt an der Seite des Vorderendes **26** zum Kontaktpunkt zwischen der ersten gekrümmten Fläche R1 und der zweiten gekrümmten Fläche R2 9,0 mm. Bezüglich des Basiskörpers **40** beträgt ein Abstand L3 von einem Endabschnitt an der Seite des Vorderendes **26** zum Endabschnitt des Erosionsschutzes **25** an der Seite des Vorderendes **26** 1,0 mm. bezüglich des Basiskörpers **40** beträgt ein Abstand L4 vom Endabschnitt an der Seite des Vorderendes **26** zum Endabschnitt der dritten gekrümmten Fläche R3 an der Seite des Vorderendes **26** 2,7 mm. Bezüglich des Basiskörpers **40** beträgt ein Abstand L5 vom Endabschnitt an der Seite des Vorderendes **26** um Kontaktpunkt zwischen der zweiten gekrümmten Fläche R2 und der dritten gekrümmten Fläche R3 3,2 mm.

[0045] Bei der Turbinenschaufel **15** ist die Grenze **28** zwischen dem Schaufelhauptkörper **24** und dem Erosionsschutz **25** in einer Form ausgebildet, die der Fläche gegenüber der Schaufelfläche **27** näher kommt, mit Verlauf der Position vom Endabschnitt auf der Seite der Schaufelfläche **27** zum Endabschnitt des Vorderendes **26**, und sie weist die erste gekrümmten Fläche R1 und die zweite gekrümm-

te Fläche R2 auf, wodurch die Leistung des Erosionsschutzes **25** verbessert werden kann. Ferner kann beim Schaufelhauptkörper **24** die Erzeugung eines Defekts auf dem Erosionsschutz **25** unterbunden werden, und es kann die Härte des Erosionsschutzes **25** verbessert werden (härter gemacht werden). Das heißt, eine Verdünnung des abgelagerten Materials (Metall des Erosionsschutzes **25**) mit einer Komponente des Ausgangsmaterials (Komponente des Schaufelhauptkörpers **24**) kann unterbunden werden, durch die oben beschriebene Beziehung zwischen dem Schaufelhauptkörper **24** und dem Erosionsschutz **25**, der durch die Laserschweißplattierung ausgebildet wird. Dadurch kann eine Verringerung der Härte des Erosionsschutzes unterbunden werden. Somit kann eine Verschlechterung der Leistung des Erosionsschutzes unterbunden werden. Ferner kann vermieden werden, dass das Metall des Erosionsschutzes **25** aufgrund einer Verdünnung des abgelagerten Metalls mit der Komponente des Ausgangsmaterials reist. Ferner kann verhindert werden, dass Schweißdefekte, wie beispielsweise ein unvollständiges Verschmelzen zwischen dem Erosionsschutz **25** und dem Schaufelhauptkörper **24**, oder eine Blasenbildung auftritt.

[0046] Wenngleich gemäß der vorliegenden Ausführungsform die erste gekrümmte Fläche R1 und die zweite gekrümmte Fläche R2 so vorgesehen sind, dass diese miteinander in Kontakt kommen, kann auch ein geradliniger Abschnitt zwischen der ersten gekrümmten Fläche R1 und der zweiten gekrümmten Fläche R2 vorgesehen sein. Ferner kann gemäß der vorliegenden Ausführungsform eine gekrümmte Fläche zwischen der dritten gekrümmten Fläche R3 und der Fläche gegenüber der Schaufelfläche **27** vorgesehen sein. Hierbei ist die Grenze **28** vorzugsweise auf eine Weise ausgebildet, dass die erste gekrümmte Fläche R1, die zweite gekrümmte Fläche R2 und die dritte gekrümmte Fläche R3 sanft bzw. gleichmäßig verbunden sind und die Krümmungsradien groß werden. Wenn die jeweiligen gekrümmten Flächen der Grenze **28** so vorgesehen sind, dass sie große Krümmungsradien aufweisen, kann sich die Dicke des Erosionsschutzes **25** in einer Richtung entlang der Grenze **28** allmählich ändern, und die Leistung des Erosionsschutzes **25** kann verbessert werden.

[0047] Bei der Turbinenschaufel **15** ist der Abstand d3 kürzer als ein Abstand, der durch Subtrahieren des Abstands L3 vom Abstand L4 erhalten wird. In anderen Worten ist die Dicke des Erosionsschutzes **25** auf der Seite des Vorderendes **26** größer als auf der Seite der Schaufelfläche **27**. Mit dieser Struktur kann die Dicke auf der Seite des Vorderendes **26**, wo Erosion mit höherer Wahrscheinlichkeit auftritt und der Grad der Verringerung der Dicke hoch ist, groß ausgebildet werden, während die Dicke auf der Seite der Schaufelfläche **27**, wo der Grad der Verringerung der Dicke niedrig ist, gering ausgebildet werden kann.

[0048] Die Abstände d4 und d5 von der Fläche in der Nähe der Schaufelfläche **27** im Basiskörper **40** zur Schaufelfläche **27**, das heißt, der Abstand bzw. die Dicke des Abschnitts überschüssiger Dicke in der Nähe der Schaufelfläche **27**, ist auf 1,0 mm festgelegt. Durch Festlegen des Abstands bzw. der Dicke des Abschnitts überschüssiger Dicke auf der Schaufelfläche **27** auf 1 mm, insbesondere auf 1 mm oder mehr, kann die Bearbeitung effizient durchgeführt werden.

[0049] Der Abstand d6 zwischen der Fläche des Basiskörpers **40**, die der Fläche gegenüber der Schaufelfläche **27** zugewandt ist, und der Fläche gegenüber der Schaufelfläche **27** der Turbinenschaufel **15**, das heißt, eine Dicke eines Abschnitts überschüssiger Dicke auf der Fläche gegenüber der Schaufelfläche **27** ist auf 2,0 mm festgelegt. Durch Festlegen des Abstands bzw. der Dicke des Abschnitts überschüssiger Dicke auf der Fläche gegenüber der Seite der Schaufelfläche **27** auf 2,0 mm, insbesondere auf 2,0 mm oder mehr, kann die Bearbeitung effizient durchgeführt werden.

[0050] Als Nächstes wird das Verfahren zur Herstellung der Turbinenschaufel unter Verwendung der **Fig. 5** und **Fig. 6** beschrieben. Beim Verfahren zur Herstellung der Turbinenschaufel werden eine Form und ein Bearbeitungsumfang des Basiskörpers **40** der Turbinenschaufel basierend auf einer Form einer herzustellenden Turbinenschaufel (Rotorschaukel) bestimmt (Schritt S20). Insbesondere werden die Form und Abstände zwischen entsprechenden Positionen des Basiskörpers **40**, festgelegt wie in der oben beschriebenen **Fig. 4**, bestimmt, und der Bearbeitungsumfang und ein Bearbeitungsablauf werden basierend auf der Form bestimmt.

[0051] Nachdem Bearbeitungsbedingungen bestimmt sind, wird gemäß dem Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel der Basiskörper **40** der Turbinenschaufel basierend auf den bestimmten Bedingungen hergestellt (Schritt S22). In anderen Worten wird der Basiskörper **40**, der ein Werkstück **82** ist, dargestellt in **Fig. 6**, gemäß dem Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel hergestellt. Bevor die Grenze **28** ausgebildet ist, weist der Basiskörper **40** eine Form auf, bei der ein Abschnitt überschüssiger Dicke und ein Abschnitt außerhalb der Grenze **28** am Vorderende verbleiben. Der Basiskörper **40** wird durch Gießen hergestellt. Beispielsweise wird ein Schmiedematerial (beispielsweise Edelstahl oder dergleichen), das auf eine hohe Temperatur einer Rekristallisationstemperatur oder höher erhitzt ist, in ein Paar aus einer oberen und unteren Form, die der Gestalt des Basiskörpers **40** entsprechen, eingebracht, und es wird ein Heißgesenkschmieden durchgeführt. Nachdem das Heißgesenkschmieden beendet ist, ist ein Schmiedeprodukt ausgebildet, das die Form des Basiskörpers **40** hat. Der hergestellte Basiskörper **40** des geschmolzenen und geschmiedeten Produkts in

einem Hochtemperaturzustand wird abgekühlt, anschließend werden unnötige Abschnitte (Grate) entfernt, und anschließend wird das geschmiedete Produkt einer Wärmebehandlung unterzogen. Dadurch können eine Restspannung, die in dem geschmiedeten Produkt im vorigen Prozess (Schmiedebearbeitung) erzeugt wird, und eine Wärmespannung, die in dem Schmiedeprodukt während des Kühlvorgangs erzeugt wird, entfernt werden. Auf diese Weise wird der Basiskörper **40** hergestellt.

[0052] Gemäß dem Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel wird ein Abtragen bzw. Abkanten (beveling) zur Schweißplattierung nach der Herstellung des Basiskörpers **40** durchgeführt (Schritt S24). In anderen Worten wird das Abtragen bzw. Abkanten am Werkstück **82** in **Fig. 6** durchgeführt, und ein Teil **44** eines Basiskörpers **42** wird entfernt, vgl. Werkstück **84**. Somit wird ein Abschnitt an der Vorderendseite des Basiskörpers **42** zu einer gekrümmten Fläche, die entlang der Grenze **28** ausgebildet ist.

[0053] Gemäß dem Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel wird, nachdem das Abtragen für das Schweißplattieren durchgeführt ist, eine Plattierungsbearbeitung durch Laserschweißen durchgeführt (Schritt S26). In anderen Worten wird die Schweißplattierung am Werkstück **84** in **Fig. 6** durchgeführt, und es wird ein Plattierungsabschnitt **46** an dem Basiskörper **42** ausgebildet, vgl. Werkstück **86**. Der Plattierungsabschnitt **46** wird aus einem Metall (abgelagerten Metall), das zum Erosionsschutz **25** wird, in einem Bereich bzw. Flächenbereich ausgebildet, der einen Bereich bzw. Flächenbereich **50** umfasst, in dem der Erosionsschutz **25** ausgebildet ist. Ferner wird die Plattierungsbearbeitung durchgeführt, indem eine Erstreckungsrichtung der Turbinenschaufel **15**, das heißt, eine Richtung, die vertikal zur Zeichnungsebene der **Fig. 6** liegt, als ein Durchgang festgelegt wird. Wenn ferner die Plattierungsbearbeitung im nächsten Durchgang nach der Plattierungsbearbeitung im vorigen Durchgang durchgeführt wird, wird eine Bearbeitungsposition in einer Richtung bewegt, die mit einem Pfeil **52** gekennzeichnet ist. Das heißt, die Plattierungsbearbeitung beginnt vom Endabschnitt auf der Schaufelfläche **27** im Bereich **50**, bewegt sich allmählich zum Vorderende **26** und endet an der Fläche gegenüber der Schaufelfläche **27**.

[0054] Gemäß dem Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel kann verhindert werden, dass eine Dicke des Bereichs **50** groß wird, indem die Fläche, die mit dem Plattierungsabschnitt **26** des Basiskörpers **42** ausgebildet ist, entlang der Grenze **28** als eine gekrümmte Fläche ausgebildet wird, und wobei während eines Durchgangs (eine Schicht) der Plattierungsabschnitt aus dem abgelagerten Metall an jeder Position ausgebildet werden kann. In anderen Worten kann das Ausbilden der Fläche **50** durch eine Mehrschicht-Schweißplattierung verhindert wer-

den, und ferner kann unterbunden werden, dass ein Bereich mit verringerter Härte im Bereich **50** bezüglich der Fläche des Bereichs **50** vorhanden ist. Hierbei kann gemäß dem Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel der Plattierungsabschnitt **46** an jeder Position aus einer einzigen Schicht ausgebildet werden, indem die Dicke des Bereichs **50** auf 2, 0 mm oder weniger festgelegt wird. Der Bereich mit verringerter Härte ist ein Bereich, in dem das Ausgangsmaterial sich mit dem abgelagerten Metall vermischt, und ist ferner ein Bereich, in dem die Leistung des Erosionsschutzes **25** (Antierosionsleistung), die durch das abgelagerte Metall erhalten wird, verschlechtert ist.

[0055] Vorzugsweise beträgt die Verdünnung in dem Plattierungsabschnitt **46** mit dem Ausgangsmaterial (Material des Basiskörpers **42**) 10% oder weniger. Gemäß dem Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel kann die Verdünnung mit dem Ausgangsmaterial (Material des Basiskörpers **42**) auf 10% oder weniger gebracht werden, durch Ausbilden des Plattierungsabschnitts **46** durch die Plattierungsbearbeitung unter Verwendung eines Lasers, wie es später beschrieben ist. Gemäß dem Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel kann ein Schweißeintrag des abgelagerten Metalls (des Metalls des Plattierungsabschnitts **46**, des Metalls, das zum Erosionsschutz **25** wird) verhindert werden, indem die Fläche, die mit dem Plattierungsabschnitt **46** des Basiskörpers **42** vorgesehen ist, als gekrümmte Fläche ausgebildet wird, die entlang der Grenze **28** ausgebildet ist, und eine Verdünnung mit der Ausgangskomponente (Material des Basiskörpers **42**) kann auf sichere Weise auf 10% oder weniger gebracht werden. Ferner wird der Plattierungsabschnitt **46** so ausgebildet, dass benachbarte Schweißperlen, das heißt, Abschnitte, die durch benachbarte Durchläufe ausgebildet werden, einander überlappen. Wenn ferner die Schweißperle mit dem Basiskörper **42** in Kontakt steht, wird die Schweißperle vorzugsweise so ausgebildet, dass ein Abschnitt, der mit einer anderen Schweißperle in Kontakt steht, größer als ein Abschnitt wird, der mit dem Basiskörper **42** in Kontakt steht. Die Plattierungsbearbeitung durch Laserschweißen wird später beschrieben.

[0056] Gemäß dem Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel wird eine Endbearbeitung zur Entfernung eines Abschnitts überschüssiger Dicke durchgeführt (Schritt S28), nachdem die Plattierungsbearbeitung durchgeführt ist. Das heißt, die Endbearbeitung wird an dem Werkstück **86** in **Fig. 6** durchgeführt, und ein Abschnitt überschüssiger Dicke **60** an der Seite der Schaufelfläche **27**, ein Abschnitt überschüssiger Dicke **62** an der Fläche gegenüber der Schaufelfläche **27** und ein Abschnitt überschüssiger Dicke **64** des Plattierungsabschnitts **46** werden entfernt bzw. abgetragen, wie es durch ein Werkstück **88** gezeigt ist. Somit wird die Turbinenschaufel **15**,

welche den Schaufelhauptkörper **24** und den Erosionsschutz **25** aufweist, ausgebildet. Danach wird die Turbinenschaufel **15** einer nötigen Wärmebehandlung (beispielsweise einer Wärmebehandlung mit einer Lösung und einer Alterungsbehandlung) und dergleichen unterzogen, und die Turbinenschaufel **15** wird mit erforderlichen mechanischen Eigenschaften versehen.

[0057] Als Nächstes wird die Plattierungsbearbeitung durch Laserschweißen (Schweißplattieren) im Schritt S26 detaillierter unter Verwendung der **Fig. 7**, **Fig. 8** und **Fig. 9** beschrieben. Als Erstes wird eine schematische Struktur einer Einrichtung zum Schweißplattieren **100** zur Durchführung der Plattierungsbearbeitung durch Laserschweißen unter Verwendung der **Fig. 7** und **Fig. 8** beschrieben. Wie es in **Fig. 7** dargestellt ist, weist die Einrichtung zum Schweißplattieren **100** eine Laserabstrahleinrichtung **102**, eine Leistungszufuhreinrichtung **104**, eine Bildgebungseinrichtung **106**, einen Liniennerzeuger **107**, einen Unterstützungstisch **108**, einen Bewegungsmechanismus **109**, einen Monitor **110** und eine Steuereinheit **111** auf.

[0058] Die Laserabstrahleinrichtung **102** weist eine Lichtquelle **112**, eine optische Faser bzw. einen Lichtleiter **114** und einen Laserbearbeitungskopf **116** auf. Die Lichtquelle **112** ist eine Licht emittierende Quelle zur Ausgabe eines Laserstrahls. Die optische Faser **114** leitet den Laserstrahl, der von der Lichtquelle **112** ausgegeben wird, zum Laserbearbeitungskopf **116**. Der Laserbearbeitungskopf **116** gibt den Laserstrahl, der von der optischen Faser **114** geleitet wird, aus. Der Laserbearbeitungskopf **116** ist der Bearbeitungsposition des Basiskörpers **42** zugewandt, wie es in **Fig. 8** dargestellt ist, und strahlt den Laserstrahl **202** auf die Bearbeitungsposition ab.

[0059] Die Leistungszufuhreinrichtung **104** weist eine Pulverzufuhrquelle **120**, eine Pulverzufuhrleitung **122**, eine Luftzufuhrquelle **124**, eine Luftzufuhrleitung **126** und einen Pulverzufuhrkopf **128** auf. Die Pulverzufuhrquelle **120** ist eine Zufuhrquelle zum Zuführen eines abzulagernden Metalls. Die Pulverzufuhrquelle **120** transportiert das abzulagernde Metall als eine gemischte Strömung mit Luft oder dergleichen, wodurch eine Zufuhr zur Pulverzufuhrleitung **122** durchgeführt wird. Die Pulverzufuhrleitung **122** führt den gemischten Strom aus Luft und abzulagerndem Metall, das von der Pulverzufuhrquelle **120** zugeführt wird, dem Pulverzufuhrkopf **128** zu. Die Luftzufuhrquelle **124** führt Edelgas als Abschirmgas (beispielsweise Stickstoff oder Argon) der Bearbeitungsposition zu, gemäß der vorliegenden Ausführungsform Stickstoffgas von 99,999%. Die Luftzufuhrleitung **126** führt das Abschirmgas, das von der Luftzufuhrquelle **124** zugeführt ist, dem Pulverzufuhrkopf **128** zu.

[0060] Wie es in **Fig. 9** dargestellt ist, ist der Pulverzufuhrkopf **128** eine Doppelröhrendüse, in der eine Röhre **130** an einer Innenumfangsseite und eine Röhre **132** an einer Außenumfangsseite, an der Innenumfangsseite angeordnet an einem Außenumfang der Röhre **130**, konzentrisch angeordnet sind. Beim Pulverzufuhrkopf **128** wird ein Bereich, der von einem Innenumfang der Röhre **130** an der Innenumfangsseite umgeben ist, zu einem Strömungskanal **134**. Der Strömungskanal **134** ist kreisförmig ausgebildet, mit einem konzentrischen Zentrum. Beim Pulverzufuhrkopf **128** wird ein Bereich, der an der Außenumfangsseite von einer Innenumfangsfläche der Röhre **132** und einer Außenumfangsfläche der Röhre **130** der Innenumfangsseite umgeben ist, zu einem Strömungskanal **136**. Der Strömungskanal **136** ist ringförmig ausgebildet. Der Pulverzufuhrkopf **128** sprüht ein gemischtes Fluid (ein Pulver) **204**, das durch Mischen von Luft und dem abzulagernden Metall erhalten wird, das vom Strömungskanal **134** zugeführt wird, durch die Pulverzufuhrleitung **122**, und bläst Abschirmluft **206**, die von der Luftzufuhrleitung **126** zugeführt wird, durch den Strömungskanal **136**. Der Pulverzufuhrkopf **128** ist der Arbeitsposition des Basiskörpers **42** zugewandt, wie es in **Fig. 8** dargestellt ist, und sprüht das Pulver **204** und bläst die Abschirmluft **206** zur Arbeitsposition.

[0061] Die Bildgebungseinrichtung **106** ist eine Kamera oder dergleichen und nimmt ein Bild des Basiskörpers **42** auf. Die Bildgebungseinrichtung **106** deckt ein Sichtfeld ab, das einen Teil einer Linie enthält, die durch die Arbeitspositionen des Basiskörpers **42** des Laserkopfs **116** und Pulverzufuhrkopfs **128** tritt und die parallel zur Erstreckungsrichtung der Vorderseite des Basiskörpers **42** ist. Der Linienerzeuger **107** strahlt einen Messlinienstrahl auf den Basiskörper **42** ab, der in dem Sichtfeld der Bildgebungseinrichtung **106** enthalten ist. Der Unterstützungstisch **108** ist ein Tisch, der den Laserkopf **116**, den Pulverzufuhrkopf **128**, die Bildgebungseinrichtung **106** und den Linienerzeuger **107** unterstützt. Der Laserkopf **116** und der Pulverzufuhrkopf **128** werden von dem Unterstützungstisch **108** über einen Kopfbewegungsmechanismus **129** zur Bewegung des Laserkopfs **116** und des Pulverzufuhrkopfs **128** unterstützt. Der Kopfbewegungsmechanismus **129** dreht den Laserkopf **116** und den Pulverzufuhrkopf **128** um die Erstreckungsrichtung der Vorderseite des Basiskörpers **42** oder bewegt den Laserkopf **116** und den Pulverzufuhrkopf **128** entlang dreier senkrechter Achsen. Der Bewegungsmechanismus **109** ist ein Mechanismus, der den Basiskörper **42** relativ zu entsprechenden Elementen, die von dem Unterstützungstisch **108** unterstützt werden, bewegt. Der Monitor **110** zeigt ein Bild, das von der Bildgebungseinrichtung **106** aufgenommen wird, oder verschiedene Betriebsanzeigen an. Die Steuereinheit **111** steuert die Funktionen bzw. Abläufe entsprechender Elemente der Einrichtung zum

Schweißplattieren **100**. Im Folgenden wird die Steuereinheit beschrieben.

[0062] Die Einrichtung zum Schweißplattieren **100** kann das abzulagernde Metall, das in dem Pulver **204** enthalten ist, durch Abstrahlen des Laserstrahls **202** auf die Arbeitsposition des Basiskörpers **42**, während das Pulver **204** zugeführt wird, an den Basiskörper **42** schweißen. Ferner kann die Einrichtung zum Schweißplattieren **100** eine Atmosphäre an der Arbeitsposition erzeugen, die einer bestimmten Atmosphäre entspricht, durch Zuführen der Abschirmluft **206** zur Arbeitsposition. Insbesondere kann die Sauerstoffkonzentration an der Arbeitsposition gesteuert werden.

[0063] Als Nächstes wird ein beispielhafter Betriebsablauf der Plattierungsbearbeitung durch Laserschweißen unter Verwendung der **Fig. 10** bis **Fig. 13** beschrieben. Der Prozess bzw. Ablauf, der in **Fig. 10** dargestellt ist, kann durch eine automatische Steuerung unter Verwendung eines Programms oder dergleichen ausgeführt werden.

[0064] Beim Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel wird die Oberfläche des mit Rillen versehenen Bereichs bzw. Flächenbereichs durch Ausführen einer Schleifbearbeitung behandelt (Schritt S40). Das abzulagernde Metall, das durch Schweißplattieren geschweißt wird, kann durch Ausführen der Schleifbearbeitung in einen Zustand gebracht werden, in dem dieses auf einfache Weise an die Oberfläche (Grenze) des Basiskörpers **42** geschweißt werden kann. Bei dem Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel wird eine Dickenmessung nach der Schleifbearbeitung durchgeführt (Schritt S42). In anderen Worten wird gemäß dem Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel eine Form bzw. Gestalt eines mit dem Erosionsschutz **25** auszubildenden Bereichs gemessen.

[0065] Gemäß dem Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel wird ein Kopiervorgang der Arbeitsposition durchgeführt (Schritt S44), nachdem die Dickenmessung durchgeführt ist. Die Position, die mit einer Schweißperle zu versehen ist, durch Zuführen des abzulagernden Metalls, während dieses mit dem Laserstrahl bestrahlt wird, wird als Bestrahlungsposition mit dem Laserstrahl spezifiziert. Dadurch wird ein Weg eingestellt, entlang dem jeder Kopf relativ zum Basiskörper **42** bewegt wird.

[0066] Der Kopiervorgang wird mit Bezug auf die **Fig. 11** bis **Fig. 13** beschrieben. Bei dem Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel werden die Positionen des Laserstrahls zur Bearbeitung (der Laserstrahl, der von dem Laserkopf **116** abgestrahlt wird) und des Laserstrahls zur Messung (der Laserstrahl, der von dem Linienerzeuger **107** ausgegeben wird) korrigiert (Schritt S100). Insbesondere wird ein

Positionierungsvorgang für den Laserkopf **116** und den Linienrechner **107** durchgeführt. Der Positionierungsvorgang kann mittels eines Positionsdetektors (wie beispielsweise eines Encoders oder eines Steuersignals) durchgeführt werden.

[0067] Beim Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel wird ein Kopiervorgang einer Arbeitsposition durchgeführt (Schritt S102), wenn die Positionen korrigiert sind. Insbesondere wird, wie es in **Fig. 12** dargestellt ist, ein Linienstrahl **138** vom Linienrechner **107** auf das Messziel (Basiskörper) **140** abgestrahlt, und es wird ein Bild von der Bildgebungseinrichtung **106** aufgenommen, wodurch eine bestimmte Position abgebildet wird. Gemäß dem Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel wird ein Bild aufgenommen, und das aufgenommene Bild wird von der Steuereinheit **111** analysiert. Gleichzeitig wird eine Relativposition zwischen einer Markierung **142**, die fest an einer bestimmten Position des Bilds vorgesehen ist, und einem Projektionsbild **144**, das ausgebildet wird, wenn der Linienstrahl **138** auf den Basiskörper **140** projiziert wird, detektiert. Hierbei weist die Markierung **142** der Ausführungsform eine Kreuzform auf.

[0068] Gemäß dem Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel wird eine Position, an der die Markierung **142** und das Projektionsbild **144** einander überlappen, detektiert, und die detektierte Position wird als Kopierposition extrahiert. Da eine Markierung **142a** und ein Projektionsbild **144a** sich an einer Position eines Basiskörpers **140a** nicht überlappen, wird diese Position gemäß dem Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel nicht als Kopierposition extrahiert, und der Basiskörper **140** wird vom Bewegungsmechanismus **109** bewegt. Da eine Markierung **142b** und ein Projektionsbild **144b** sich an einer Position eines Basiskörpers **140b** nicht überlappen, wird gemäß dem Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel diese Position gleichermaßen nicht als Kopierposition extrahiert, und der Basiskörper **140** wird vom Bewegungsmechanismus **109** bewegt. Auf diese Weise wird gemäß dem Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel die Überlappungsposition zwischen der Markierung **142** und dem Projektionsbild **144** durch Einstellung der Position des Basiskörpers **140** detektiert.

[0069] Wenn gemäß dem Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel der Kopiervorgang durchgeführt wird, wird die Kopierposition gespeichert (Schritt S104), ein Betriebsablauf bzw. Bewegungsablauf wird basierend auf Daten der Kopierposition festgelegt (Schritt S106), ein Betriebstest bzw. Bewegungstest wird durchgeführt (Schritt S108) und der Prozess wird beendet. Wenn der Betriebsablauf festgelegt wird, ist es ferner wünschenswert, die Kopierposition basierend auf einer Differenz zwischen der Relativposition des Pulverzufuhrkopfs **128** zur Bildge-

bungseinrichtung **106** und die Relativposition des Laserkopfs **116** zur Bildgebungseinrichtung **106** einzustellen. Wenn auf diese Weise eine Korrektur (Verschiebung) durchgeführt wird, basierend auf der Differenz zwischen den Relativpositionen, ist es möglich, eine Position mit hoher Genauigkeit basierend auf der Kopierposition zu korrigieren, selbst wenn eine Position, an der ein Bild von der Bildgebungseinrichtung **106** aufgenommen wird, von einer Position abweicht, auf die ein Laserstrahl vom Laserkopf **116** abgestrahlt wird.

[0070] Gemäß dem Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel werden ein Vorheizen und eine Zwischentemperatureinstellung durchgeführt (Schritt S46), nachdem der Kopiervorgang durchgeführt ist. Gemäß der vorliegenden Ausführungsform wird das Heizen oder Kühlen je nach Bedarf hauptsächlich so durchgeführt, dass der Basiskörper **42** eine bestimmte Temperatur erreicht, die in einem Bereich von 50°C bis 100°C liegt. Gemäß dem Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel wird das Schweißplattieren durchgeführt (Schritt S48), nachdem das Vorheizen und die Zwischentemperatureinstellung durchgeführt sind. Insbesondere wird ein Schweißplattieren als ein Durchgang (by one-pass) unter Verwendung der Einrichtung zum Schweißplattieren **100** durchgeführt.

[0071] Gemäß dem Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel wird eine Zwischendurchgangs- und Zwischenschichtbehandlung durchgeführt (Schritt S50), nachdem das Schweißplattieren durchgeführt ist. Insbesondere werden ein Fließmittel, Schmutz und dergleichen, die an der Oberfläche des Plattierungsabschnitts **46** anhaften, entfernt. Gemäß dem Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel wird nach der Behandlung bestimmt, ob das Schweißplattieren zu beenden ist (Schritt S52). In anderen Worten, es wird bestimmt, ob das Schweißplattieren aller voreingestellter Wege bzw. Durchgänge durchgeführt wurde und der Plattierungsabschnitt **46** ausgebildet wurde. Im Fall, in dem bestimmt wird, dass das Schweißplattieren nicht beendet ist (Nein im Schritt S52), kehrt der Prozess gemäß dem Verfahren zur Herstellung der Turbinenschaufel zum Schritt S44 zurück, um die Bearbeitung nach bzw. mit dem Kopiervorgang durchzuführen und das Schweißplattieren für den nächsten Durchgang durchzuführen.

[0072] In dem Fall, in dem bestimmt wird, dass das Schweißplattieren beendet ist (Ja im Schritt S52), wird gemäß dem Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel eine Oberflächenbehandlung für die Schweißperle durchgeführt (Schritt S54). Insbesondere werden Fließmittel, Schmutz und dergleichen, die an der Oberfläche des Plattierungsabschnitts **46** anhaften, entfernt. Danach wird gemäß dem Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel eine Dickenmessung durchgeführt (Schritt S56), um die

Form des Plattierungsabschnitts **46** zu messen, und die Bearbeitung wird beendet.

[0073] Da die Markierung **142** und das Projektionsbild **144** in Überlappung gebracht werden, unter Verwendung des Linienzeugers **107** und der Bildgebungseinrichtung **106**, ist es gemäß dem Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel auf diese Weise möglich, die Relativposition der Einrichtung zum Schweißplattieren **100** und des Basiskörpers **140** in der Höhenrichtung einzustellen und somit einen dreidimensionalen Kopiervorgang durchzuführen. Folglich kann die Relativposition mit höherer Genauigkeit detektiert werden, wobei die Bearbeitungsgenauigkeit weiter verbessert werden kann und die Positionsgenauigkeit zwischen den Wegen verbessert werden kann. Folglich ist es möglich, ein unvollständiges Verschmelzen zwischen dem Plattierungsabschnitt, der durch den vorigen Weg ausgebildet ist, und dem Basismaterial oder ein unvollständiges Verschmelzen zwischen dem Weg der unteren Schicht und dem gegenwärtigen Weg zu unterbinden. Da der Kopiervorgang für jeden Weg bzw. Durchgang durchgeführt wird, ist es ferner möglich, die Positionsgenauigkeit zwischen den Wegen weiter zu verbessern. Somit ist es möglich, ein unvollständiges Verschmelzen zwischen dem Plattierungsabschnitt, der durch den vorigen Weg ausgebildet ist, und dem Basismaterial oder ein unvollständiges Verschmelzen zwischen dem Weg der unteren Schicht und dem gegenwärtigen Weg zu unterbinden. Da der Kopiervorgang auf eine kontaktfreie Weise durchgeführt wird, unter Verwendung des Linienstrahls, wird gemäß dem Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel ferner die Bearbeitbarkeit verbessert, im Vergleich mit einem Fall, in dem die Detektion mit einem Sensor der Kontaktart durchgeführt wird, und folglich kann die Bearbeitungszeit verkürzt werden.

[0074] Ferner ist es gemäß dem Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel wünschenswert, den Kopiervorgang für den Basiskörper **42** in einem Bereich des Schweißplattierens mit einem Weg bzw. Durchgang durchzuführen, wie es in **Fig. 13** dargestellt ist. Das heißt, es ist wünschenswert, mehrere Kopierpositionen **160** bereitzustellen. Wenn gemäß dem Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel ein Bearbeitungsablauf in einer Richtung durchgeführt wird, die durch einen Pfeil **152** gekennzeichnet ist, von einem Startpunkt **150** des Wegs zum gegenüberliegenden Ende, wie es in **Fig. 13** dargestellt ist, ist es bezüglich der Dichte der Kopierpositionen **160** wünschenswert, dass diese in der Nähe des Startpunkts **150** eines Wegs hoch ist und in der Nähe des Endpunkts des Wegs grob bzw. gering ist. Folglich ist es möglich, den Kopiervorgang effizient und mit hoher Genauigkeit durchzuführen und die Bearbeitungsgenauigkeit zu verbessern.

[0075] Gemäß dem Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel kann eine hochgenaue Bearbeitung durchgeführt werden, indem die Plattierungsbearbeitung durch Laserschweißen (Schweißplattieren) auf die Weise der oben beschriebenen Bearbeitung durchgeführt wird, und auch das Auftreten eines Defekts und dergleichen kann unterbunden werden. Gemäß dem Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel können die Bearbeitungsgenauigkeit verbessert und ein Defekt verhindert werden, durch Ausführen der Schritte S40, S46, S50 und S54, aber diese Schritte können auch weggelassen werden.

[0076] Ferner wird gemäß der vorliegenden Ausführungsform der Kopiervorgang für jeden Durchgang durchgeführt, aber es ist auch möglich, dass der Kopiervorgang nur vor dem ersten Schweißplattieren durchgeführt wird. In diesem Fall wird die Form einer Schweißperle, die in jedem Durchgang ausgebildet wird, berechnet, und es wird eine Kopierposition basierend auf dieser Form bestimmt. Vorzugsweise wird ferner in diesem Fall eine Arbeitsposition durch ein Messinstrument ermittelt und wird eine Regelung basierend auf einem Resultat davon durchgeführt. Dadurch kann das Auftreten einer Positionsverschiebung der Arbeitsposition unterbunden werden. Die Messposition kann an einer stromaufwärts gelegenen Seite der Arbeitsposition vorgesehen sein.

[0077] Ferner wird bei der Einrichtung zum Schweißplattieren **100** vorzugsweise ein Abstrahlwinkel des Laserstrahls auf ungefähr 90 Grad relativ zu einer Ebene der Arbeitsposition des Basiskörpers oder Tangentiallinie, welche einen Projektionsabschnitt und einen anderen Projektionsabschnitt verbindet, eingestellt. Da der Abstrahlwinkel des Laserstrahls auf ungefähr 90 Grad relativ zur Ebene der Arbeitsposition des Basiskörpers oder Tangentiallinie, welche den Projektionsabschnitt und den anderen Projektionsabschnitt in der Nähe der Arbeitsposition verbindet (beispielsweise wird ein Projektionsabschnitt der Schweißperle und ein Projektionsabschnitt des Basiskörpers verbunden) auf 90 Grad festgelegt wird, können Schweißfehler unterbunden werden, und es kann ein Einmischen des Ausgangsmaterials in das abgelagerte Metall unterbunden werden.

[0078] Ferner kann die Einrichtung zum Schweißplattieren **100** die Arbeitsposition oszillieren. Beispielsweise kann der Laser veranlasst werden, mit einer hohen Geschwindigkeit in einer Breitenrichtung (Richtung senkrecht zum Durchgang) zu pendeln (weave), während das Pulver der Arbeitsposition auf eine bandförmige Weise zugeführt wird. Hierbei ist die hohe Geschwindigkeit eine Geschwindigkeit, bei der die Energiedichtenverteilung des Laserstrahls an der Arbeitsposition nicht konvexförmig wird, sondern rechteckig, und ein verdünnter Abschnitt, in dem eine Mischung mit dem Ausgangsmaterial stattfindet, flach ausgebildet werden kann. Das Pendeln ge-

mäß der vorliegenden Ausführungsform ist ein Pendeln, das mit einer Frequenz im Bereich von einigen Dutzend Hz bis einigen hundert Hz durchgeführt wird. Folglich kann die Energiedichtenverteilung flach gemacht werden, und ein Abschnitt, der vom Laser geschmolzen wird, kann flach und breit vorgesehen sein.

[0079] Ferner wird gemäß der oben beschriebenen Ausführungsform das abzulagernde Metall als Pulver zugeführt, aber dieses kann auch mittels eines thermischen Sprays, Kältesprays und dergleichen zugeführt werden.

[0080] Die vorliegende Ausführungsform wurde für eine Turbinenschaufel in einer Dampfturbine als ein Anwendungsziel beschrieben, aber sie ist darauf nicht beschränkt. Die vorliegende Ausführungsform ist für ein Herstellungsverfahren einer Rotorschaufel in einer anderen Rotationsmaschine, wie beispielsweise einer Gasturbine, anwendbar.

Bezugszeichenliste

1	Dampfturbine
11	Gehäuse
12	Rotor
13	Lager
14	Rotorscheibe
15	Turbinenschaufel
16	Turbinenflügel
17	Dampfdurchgang
18	Dampfzufuhröffnung
19	Dampfabgabeöffnung
21	Schaufelfußabschnitt
22	Plattform
23	Schaufelabschnitt
24	Schaufelhauptkörper
25	Erosionsschutz
26	Vorderende
27	Schaufelfläche
28	Grenze
40, 42	Basiskörper
46	Plattierungsabschnitt
60, 62, 64	Abschnitt überschüssiger Dicke
82, 84, 86, 88	Werkstück
100	Einrichtung zum Schweißplattieren
102	Laserabstrahleinrichtung
104	Pulverzufuhreinrichtung
106	Bildgebungseinrichtung
107	Liniennerzeuger
108	Unterstützungstisch
109	Bewegungsmechanismus
110	Monitor

111
112
129

Steuereinheit
Lichtquelle
Kopfbewegungsmechanismus

Patentansprüche

1. Einrichtung zum Schweißplattieren zum Schweißen von abzulagerndem Metall, die einen Erosionsschutz an einem Basiskörper einer Turbinenschaufel durch Schweißplattieren ausbildet, wobei die Einrichtung zum Schweißplattieren aufweist:

einen Pulverzufuhrkopf, der eingerichtet ist, um das abzulagernde Metall, das für das Schweißplattieren verwendet wird, zuzuführen;

einen Laserkopf, der eingerichtet ist, um einen Laserstrahl abzustrahlen;

einen Liniennerzeuger, der eingerichtet ist, um einen Messlinienstrahl abzustrahlen;

eine Bildgebungseinrichtung, die eingerichtet ist, um ein Bild des Messlinienstrahls aufzunehmen;

einen Bewegungsmechanismus, der eingerichtet ist, um den Pulverzufuhrkopf und den Laserkopf relativ zum Basiskörper zu bewegen; und

wenigstens eine Steuereinheit, die eingerichtet ist, um eine Relativposition des Laserkopfs zum Basiskörper durch den Bewegungsmechanismus zu bewegen, so dass ein Projektionsbild des Messlinienstrahls auf dem Basiskörper, das von der Bildgebungseinrichtung aufgenommen ist, eine bestimmte Position der Bildgebungseinrichtung überlappt, um eine Position, an der das Projektionsbild die bestimmte Position der Bildgebungseinrichtung überlappt, als eine Kopierposition festzulegen, um den Bewegungsmechanismus basierend auf der Kopierposition zu steuern, und um den Pulverzufuhrkopf und den Laserkopf relativ zum Basiskörper zu bewegen.

2. Einrichtung zum Schweißplattieren nach Anspruch 1, bei der die wenigstens eine Steuereinheit ferner eingerichtet ist, um die Kopierposition basierend auf einer Differenz zwischen der Relativposition des Pulverzufuhrkopfs zur Bildgebungseinrichtung und der Relativposition des Laserkopfs zur Bildgebungseinrichtung einzustellen.

3. Einrichtung zum Schweißplattieren nach Anspruch 1 oder 2, bei der die wenigstens eine Steuereinheit ferner eingerichtet ist, um den Bewegungsmechanismus mehrmals auf einem Weg in einer Längsrichtung einer Vorderseite des Basiskörpers zu bewegen, und die Dichte der Kopierposition pro Weg in der Nähe eines Startpunkts des Wegs hoch ist und in der Nähe eines Endpunkts des Wegs gering ist.

4. Einrichtung zum Schweißplattieren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei der die wenigstens eine Steuereinheit ferner eingerichtet ist, um eine Position, an der das Projektionsbild die bestimmte Position der

Bildgebungseinrichtung überlappt, als die Kopierposition festzulegen, wenn die bestimmte Position eine Linie ist.

5. Erosionsschutzausbildungsverfahren zum Ausbilden eines Erosionsschutzes an wenigstens einem Teil einer Vorderseite und einer Schaufelfläche eines Schaufelkörpers, wobei das Erosionsschutzausbildungsverfahren aufweist:
einen Schritt zur Ausbildung einer Grenze durch Entfernen wenigstens eines Teils einer Vorderseite und einer Endfläche eines Basiskörpers, der eine Turbinenschaufel ausbildet;
einen Kopierschritt zur Durchführung eines Kopiervorgangs einer Arbeitsposition;
einen Plattierungsbearbeitungsschritt zur Ausbildung eines Plattierungsabschnitts an der Grenze durch Laserschweißen basierend auf der Kopierposition, die durch den Kopiervorgang erhalten wurde; und
einen Schritt zur Durchführung einer Endbearbeitung zur Entfernung eines Teils des Plattierungsabschnitts und eines Abschnitts überschüssiger Dicke des Basiskörpers, wobei
im Kopierschritt ein Messlinienstrahl auf den Basiskörper abgestrahlt wird, ein Projektionsbild, das durch Projizieren des Messlinienstrahls auf den Basiskörper erhalten wird, an einer festen Position aufgenommen wird, und eine Überlappungsposition zwischen dem Projektionsbild und einer bestimmten Position als eine Kopierposition festgelegt wird, basierend auf einer Position des aufgenommenen Projektionsbilds, und
im Plattierungsschritt der Bewegungsmechanismus basierend auf der Kopierposition gesteuert wird und ein Pulverzufuhrkopf und ein Laserkopf relativ zum Basiskörper bewegt werden.

6. Erosionsschutzausbildungsverfahren nach Anspruch 5, bei dem im Kopierschritt die Kopierposition basierend auf einer Differenz zwischen der Relativposition des Pulverzufuhrkopfs zur Bildgebungseinrichtung und der Relativposition des Laserkopfs zur Bildgebungseinrichtung eingestellt wird.

7. Erosionsschutzausbildungsverfahren nach Anspruch 5 oder 6, bei dem
im Plattierungsschritt der Bewegungsmechanismus mehrmals auf einem Weg in einer Längsrichtung der Vorderseite des Basiskörpers mehrmals bewegt wird, und
im Kopierschritt die Dichte der Kopierposition pro Weg in der Nähe eines Startpunkt des Wegs hoch ist und in der Nähe eines Endpunkts des Wegs gering ist.

8. Erosionsschutzausbildungsverfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, bei dem
die bestimmte Position der Bildgebungseinrichtung eine Linie ist, und

im Kopierschritt eine Position, an der das Projektionsbild die Linie der bestimmten Position überlappt, als Kopierposition festgelegt wird.

9. Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel, das aufweist:
einen Basiskörperherstellungsschritt zum Ausformen eines Basiskörpers, der einen Abschnitt überschüssiger Dicke an einer Turbinenschaufel aufweist; und
einen Schritt zur Ausbildung eines Erosionsschutzes an dem Schaufelkörper gemäß dem Erosionsschutzausbildungsverfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 8.

Es folgen 9 Seiten Zeichnungen

FIG.1

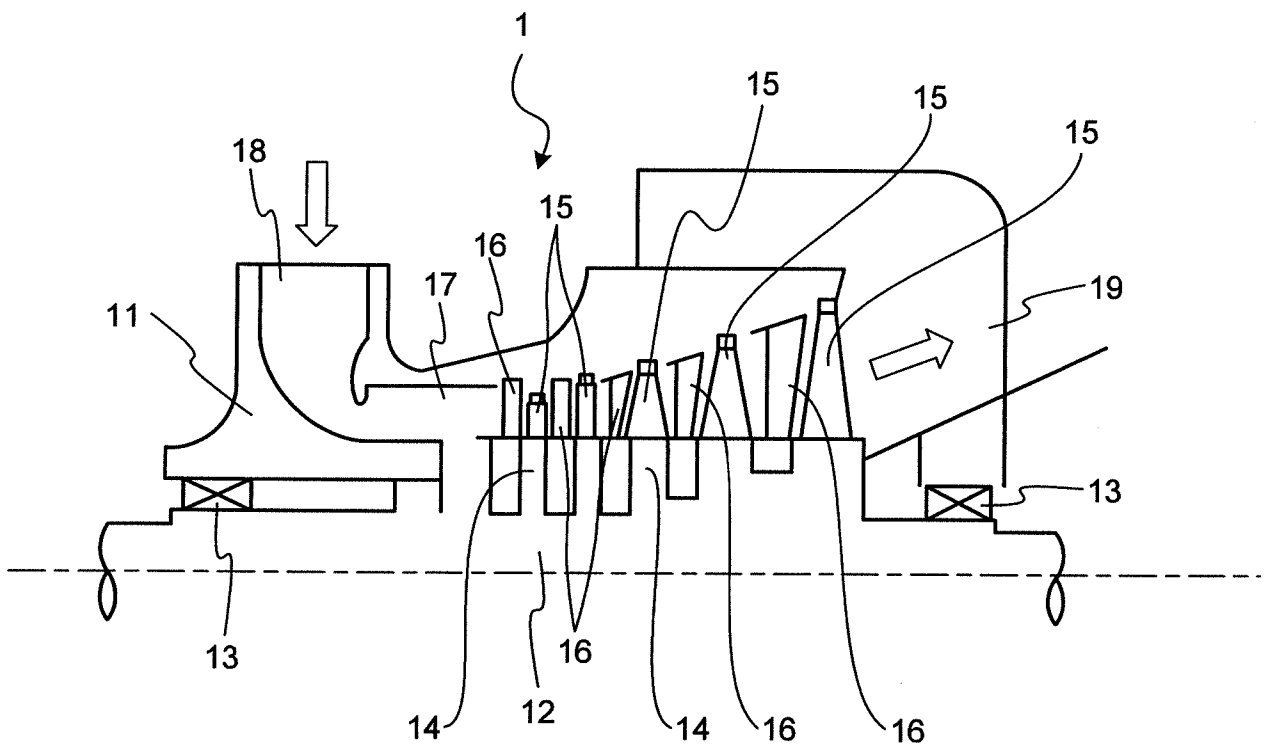


FIG.2

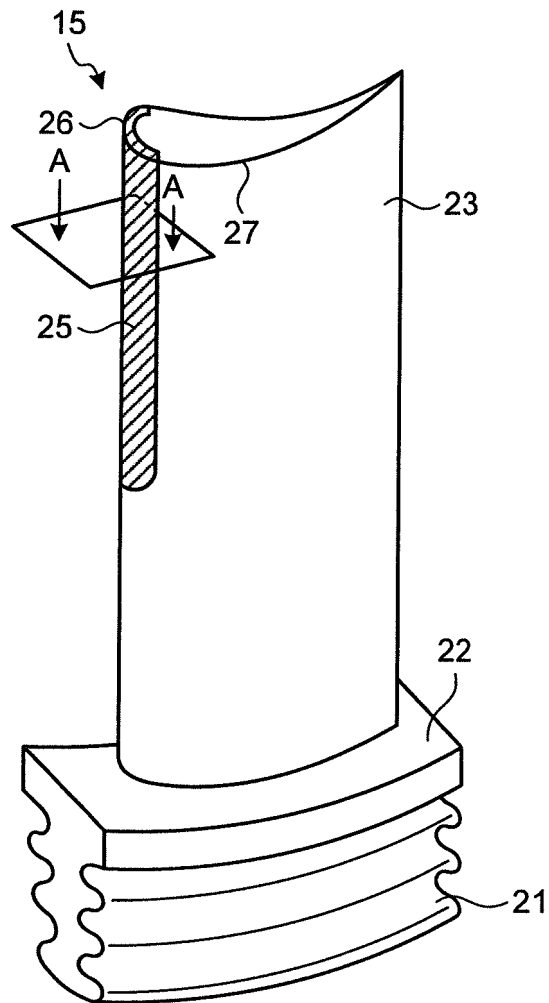


FIG.3

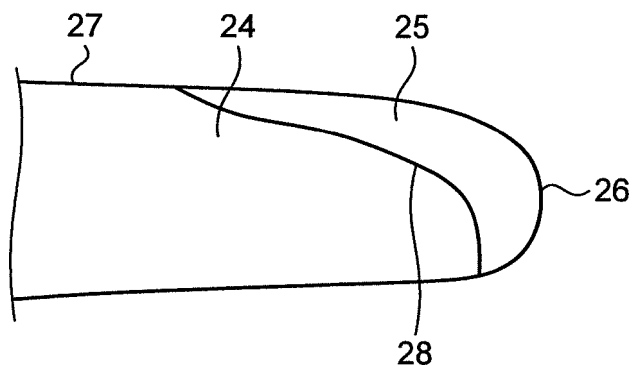


FIG.4

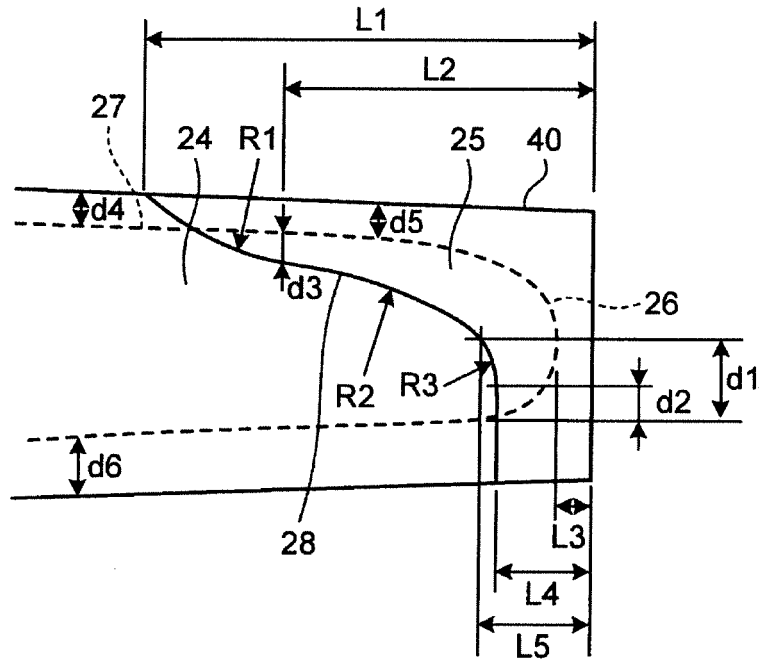


FIG.5

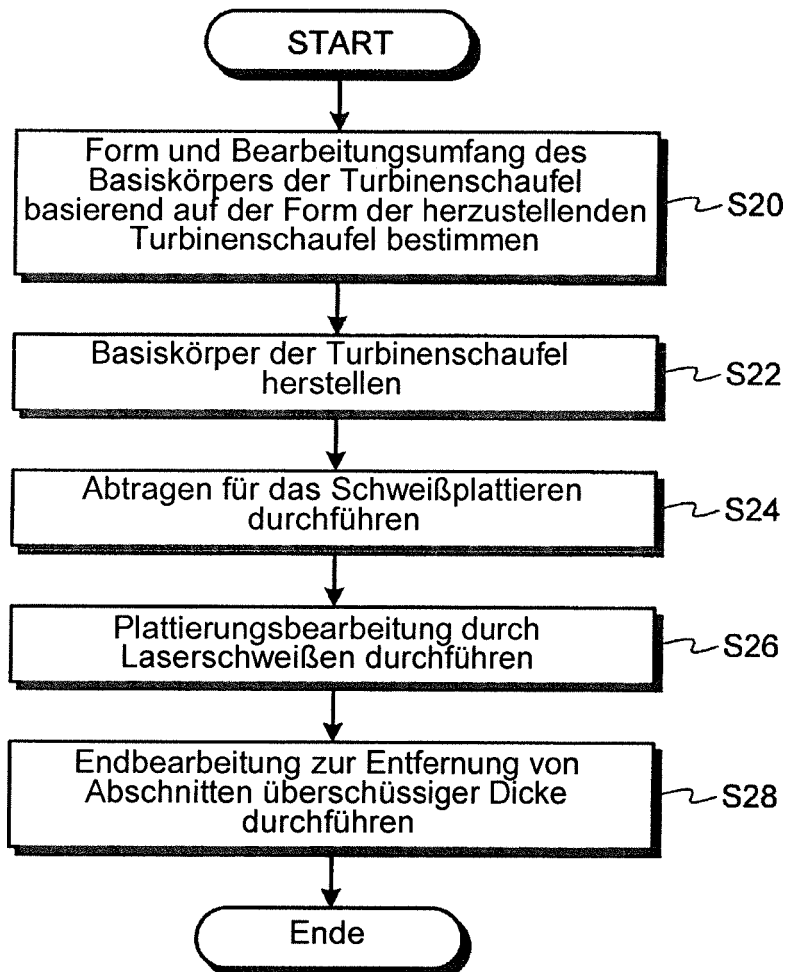


FIG.6

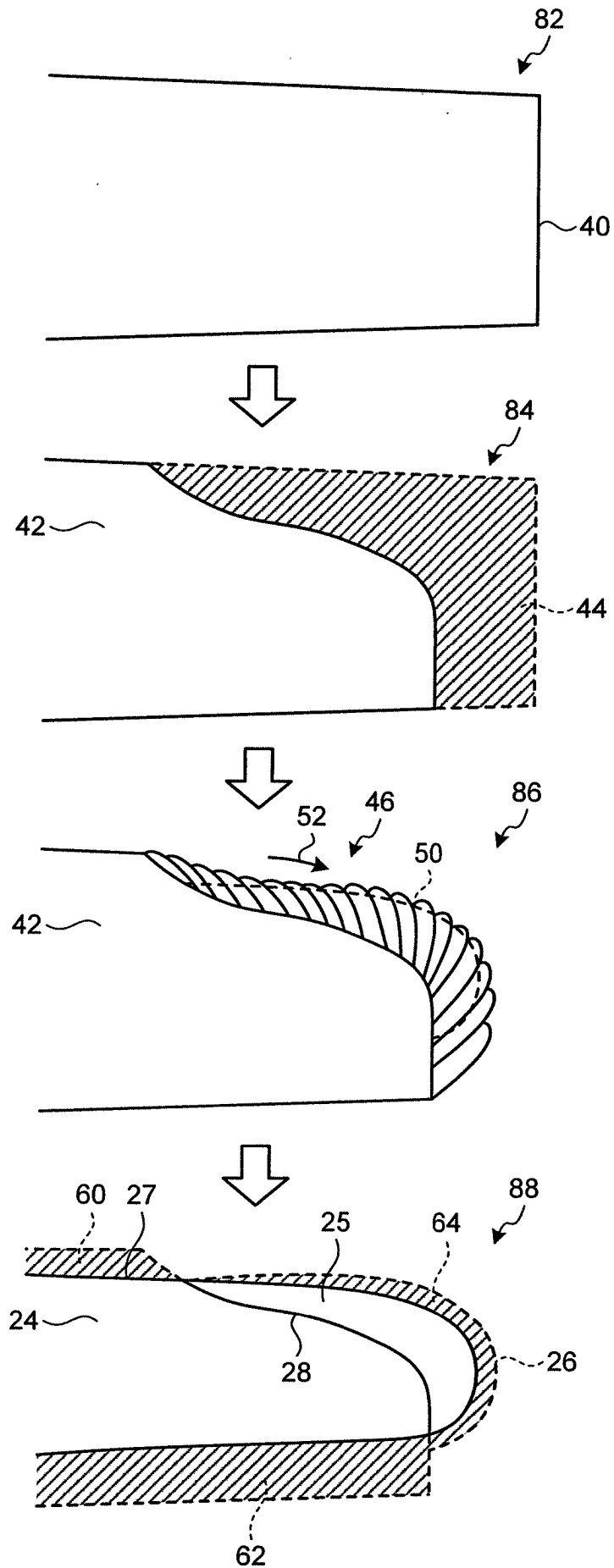


FIG.7

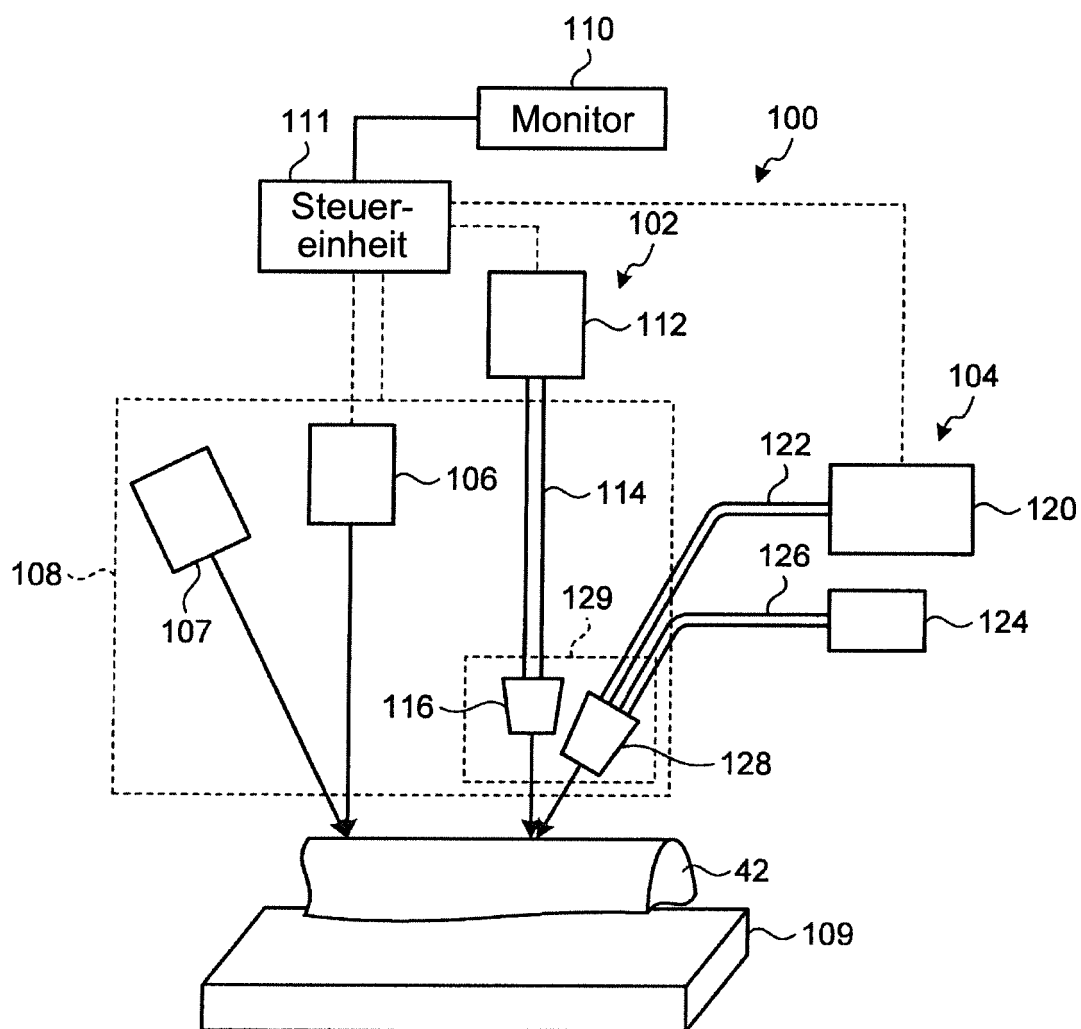


FIG.8

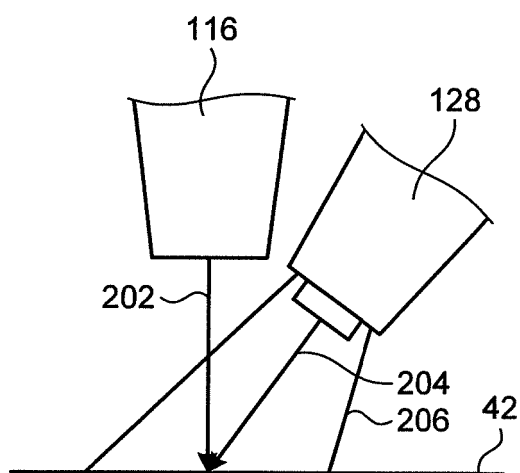


FIG.9

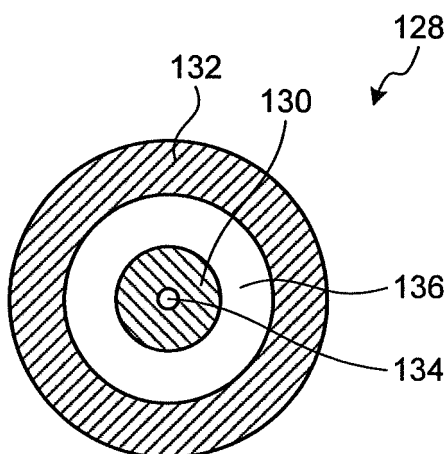


FIG.10

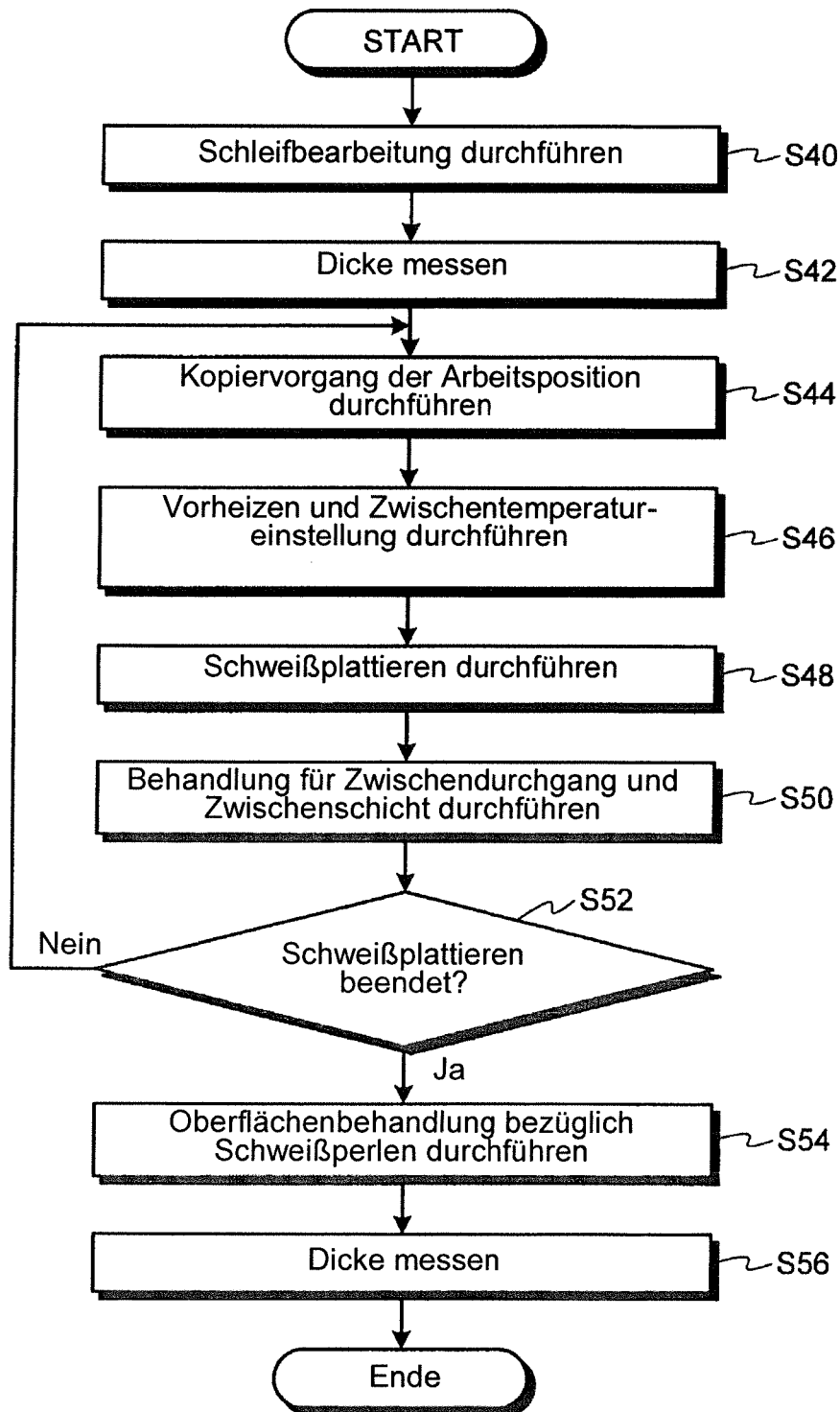


FIG.11

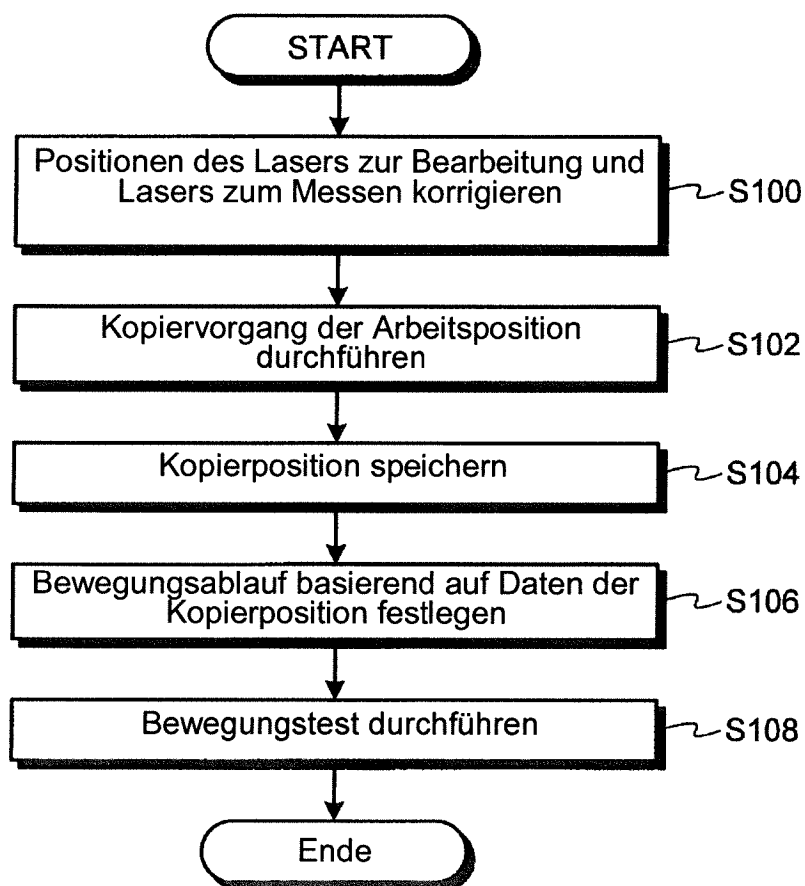


FIG.12

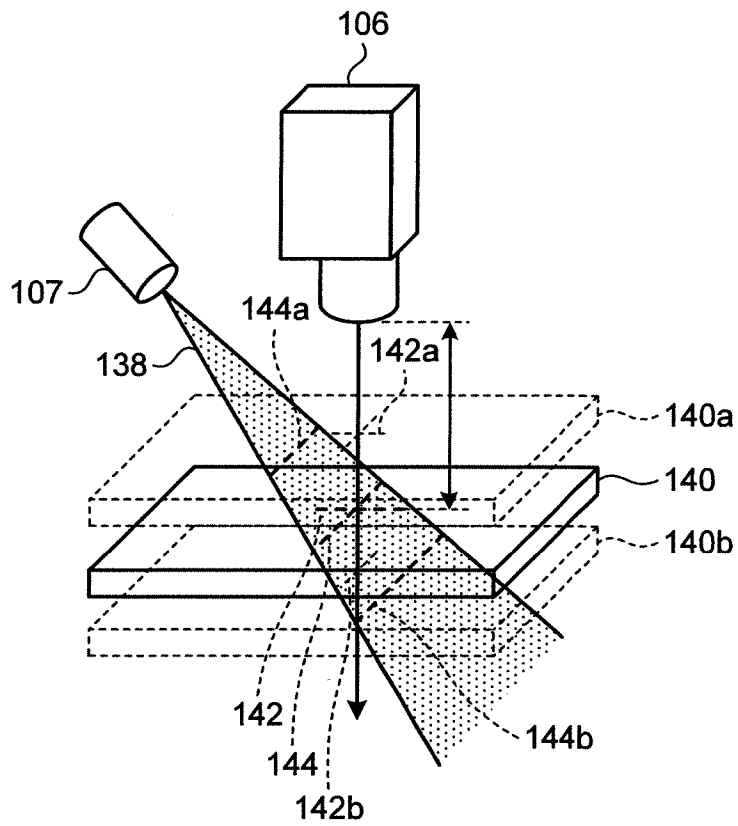


FIG.13

