



(10) **DE 11 2017 005 115 T5** 2019.08.01

(12)

## Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der  
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2018/066643**  
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2  
IntPatÜG)  
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2017 005 115.0**  
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2017/036266**  
(86) PCT-Anmeldetag: **05.10.2017**  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **12.04.2018**  
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **01.08.2019**

(51) Int Cl.: **B23K 1/19 (2006.01)**

**B23K 1/00** (2006.01)  
**F01D 5/28** (2006.01)  
**F01D 25/00** (2006.01)  
**C22C 19/05** (2006.01)  
**C22F 1/00** (2006.01)  
**C22F 1/10** (2006.01)  
**F02C 7/00** (2006.01)

(30) Unionspriorität:  
**2016-198775 07.10.2016 JP**  
(71) Anmelder:  
**MITSUBISHI HITACHI POWER SYSTEMS, LTD.,**  
**Yokohama-shi, Kanagawa, JP**  
(74) Vertreter:  
**Patentanwälte Henkel, Breuer & Partner mbB,**  
**80333 München, DE**

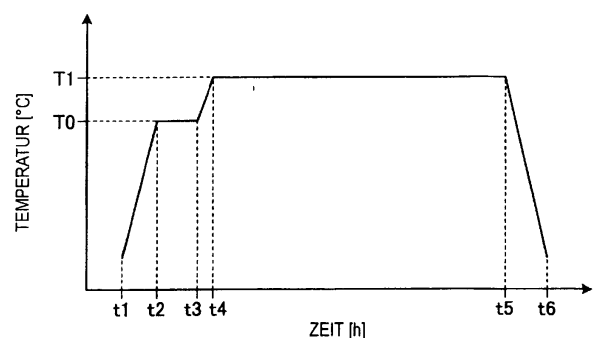
(72) Erfinder:  
**Yoshida, Daisuke, Yokohama-shi, Kanagawa, JP;**  
**Taneike, Masaki, Tokyo, JP; Inoue, Yoshiyuki,**  
**Yokohama-shi, Kanagawa, JP; Kawai, Hisataka,**  
**Osaka, JP; Kitagaki, Hisashi, Osaka, JP**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

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

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel**

(57) Zusammenfassung: Ein Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel umfasst eine Hartlötbehandlung zum Verbinden eines Hartlötmaterials mit einem Trägermaterial einer Turbinenschaufel durch Erwärmen des Trägermaterials mit dem darauf angeordneten Hartlötmaterial und Schmelzen des Hartlötmaterials, eine Stabilisierungsbehandlung zum Erwärmen des Trägermaterials, das der Hartlötbehandlung unterzogen wurde; und eine Auslagerungsbehandlung zum Erwärmen des Trägermaterials, das der Stabilisierungsbehandlung unterzogen wurde. Die Hartlötbehandlung und die Stabilisierungsbehandlung werden mit einer einzigen Wärmebehandlung durchgeführt.



**Beschreibung**

## Technisches Gebiet

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel.

## Stand der Technik

**[0002]** Eine Gasturbine schließt einen Kompressor, eine Brennkammer und eine Turbine ein. Der Kompressor nimmt Luft auf und komprimiert sie, um eine Druckluft mit hoher Temperatur und hohem Druck zu erzeugen. Die Brennkammer verbrennt die Druckluft durch Zuführen von Brennstoff zu der Druckluft. Als Turbine in einer Fahrzeugzelle sind mehrere Leitschaufeln und Laufschaufeln abwechselnd angeordnet. In der Turbine werden die Laufschaufeln durch ein aus der Druckluft erzeugtes Hochtemperatur- und Hochdruck-Verbrennungsgas gedreht. Mit der Drehung wird eine thermische Energie in eine Rotationsenergie umgewandelt.

**[0003]** Die Turbinenschaufeln, wie die Leitschaufeln und die Laufschaufeln, sind in einer Hochtemperaturumgebung exponiert und sind somit aus metallischen Materialien mit einer hohen Wärmebeständigkeitseigenschaft gebildet. Wenn die Turbinenschaufeln hergestellt werden, wird ein Trägermaterial durch Gießen, Schmieden und dergleichen gebildet und wird einer Erwärmungs- und Lösungsglühbehandlung unterzogen, wie beispielsweise in Patentdokument 1 beschrieben. Danach wird ein Hartlötmaterial auf dem Trägermaterial angeordnet und erwärmt. Entsprechend wird das Trägermaterial einer Hartlötbehandlung unterzogen. Nach dem Abkühlen des Trägermaterials wird das Trägermaterial einer Wärmebehandlung zur Stabilisierungsbehandlung und Auslagerungsbehandlung unterzogen.

## Liste der Entgegenhaltungen

## Patentdokument

**[0004]** Patentdokument 1: JP 2002-103031 A

## Zusammenfassung der Erfindung

## Durch die Erfindung zu lösendes Problem

**[0005]** Bei dem in Patentdokument 1 beschriebenen Herstellungsverfahren wird bei der Stabilisierungsbehandlung die Wärmebehandlung bei einer Temperatur durchgeführt, die höher ist als eine Liquidustemperatur des Hartlötmaterials, das für die Hartlötbehandlung verwendet wird. Wenn daher das Trägermaterial, das der Hartlötbehandlung unterzogen wurde, der Stabilisierungsbehandlung unterzogen wird, kann es einen Fall geben, bei dem das Hartlötmaterial durch Erwärmen erneut geschmolzen wird, um

einen Bruch des Hartlötmaterials hervorzurufen. Somit macht im Stand der Technik die Stabilisierungsbehandlung die Arbeit eines Hinzufügens des Hartlötmaterials zu dem Trägermaterial erforderlich, was mühsam ist.

**[0006]** Die vorliegende Erfindung erfolgte angesichts des vorstehend erwähnten Problems und hat die Aufgabe, ein Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel bereitzustellen, das in der Lage ist, den Aufwand in Herstellungsschritten zu verringern.

## Lösung des Problems

**[0007]** Ein Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst eine Hartlötbehandlung zum Verbinden eines Hartlötmaterials mit einem Trägermaterial einer Turbinenschaufel durch Erwärmen des Trägermaterials mit dem darauf angeordneten Hartlötmaterial und Schmelzen des Hartlötmaterials, eine Stabilisierungsbehandlung zum Erwärmen des Trägermaterials, das der Hartlötbehandlung unterzogen wurde; und eine Auslagerungsbehandlung zum Erwärmen des Trägermaterials, das der Stabilisierungsbehandlung unterzogen wurde. Die Hartlötbehandlung und die Stabilisierungsbehandlung werden mit einer einzigen Wärmebehandlung durchgeführt.

**[0008]** Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung werden die Hartlötbehandlung und die Stabilisierungsbehandlung mit einer einzigen Wärmebehandlung durchgeführt. Entsprechend ist die Arbeit des erneuten Hinzufügens des Hartlötmaterials selbst nicht erforderlich. Dadurch kann der Aufwand in den Herstellungsschritten verringert werden. Ferner werden zwei Behandlungsarten, welche die Hartlötbehandlung und die Stabilisierungsbehandlung einschließen, zusammen durchgeführt. Somit kann eine effiziente Behandlung für einen kurzen Zeitraum erreicht werden.

**[0009]** Ferner können die Hartlötbehandlung und die Stabilisierungsbehandlung bei einer ersten, über einer Liquidustemperatur des Hartlötmaterials liegenden Temperatur durchgeführt werden, bei der eine in dem Trägermaterial ausgeschiedene  $\gamma'$ -Phase vergrößert wird.

**[0010]** Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung werden die Hartlötbehandlung und die Stabilisierungsbehandlung mit einer einzigen Wärmebehandlung parallel durchgeführt. Entsprechend kann die Wärmebehandlung effizient durchgeführt werden.

**[0011]** Ferner können die Hartlötbehandlung, die Stabilisierungsbehandlung und die Auslagerungsbehandlung sequenziell durchgeführt werden.

**[0012]** Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung werden die Hartlötbehandlung, die Stabilisierungsbehandlung und die Auslagerungsbehandlung sequenziell durchgeführt. Somit kann ein Zeitraum der Wärmebehandlung verkürzt werden.

**[0013]** Ferner kann eine Einstellungsbehandlung zum Einstellen einer Erwärmungstemperatur für die Auslagerungsbehandlung auf eine zweite Temperatur durchgeführt werden, nachdem die Hartlötbehandlung und die Stabilisierungsbehandlung bei der ersten Temperatur durchgeführt wurden.

**[0014]** Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird während einer Wärmebehandlung die Erwärmung sequenziell durch Einstellen einer Erwärmungstemperatur von der ersten Temperatur auf die zweite Temperatur durchgeführt. Somit kann die Wärmebehandlung effizient durchgeführt werden.

**[0015]** Ferner kann die zweite Temperatur niedriger als die erste Temperatur sein.

**[0016]** Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird die Erwärmungstemperatur von der ersten Temperatur auf die zweite Temperatur abgesenkt. Entsprechend kann die Wärme nach Durchführung der Hartlötbehandlung und der Stabilisierungsbehandlung effizient genutzt werden.

**[0017]** Ferner können die Hartlötbehandlung, die Stabilisierungsbehandlung und die Auslagerungsbehandlung in einem vorher festgelegten Wärmeofen, der eine Heizvorrichtung umfasst, durchgeführt werden. Bei der Einstellungsbehandlung kann eine Ofeninnentemperatur durch Stoppen der Heizvorrichtung oder durch Stoppen der Heizvorrichtung und Zuführen einer Kühlluft zu dem Wärmeofen abgesenkt werden.

**[0018]** Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird, wenn die Heizvorrichtung gestoppt wird, um die Einstellungsbehandlung durchzuführen, eine Arbeitslast, wie Kühlarbeit, und eine Temperatursteuerung reduziert, und das Verfahren kann vereinfacht werden. Ferner kann, wenn die Einstellungsbehandlung durch Stoppen der Heizvorrichtung und Zuführen einer Kühlluft zu dem Wärmeofen durchgeführt wird, die Temperatur des Wärmeofens in einem kurzen Zeitraum abgesenkt werden.

**[0019]** Ferner kann bei der Einstellungsbehandlung die Heizvorrichtung betrieben werden, und die Ofeninnentemperatur kann auf die zweite Temperatur ansteigen, nachdem die Ofeninnentemperatur auf eine dritte Temperatur, die niedriger als die zweite Temperatur ist, abgesenkt wurde.

**[0020]** Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann die Wärmebehandlung, bei der die erste Temperatur über die zweite Temperatur auf die dritte Temperatur geändert wird, effizient durchgeführt werden.

**[0021]** Ferner kann das Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel außerdem das Bilden einer Unterschicht auf einer Oberfläche des Trägermaterials unter Verwendung eines metallischen Materials mit einer höheren Oxidationsbeständigkeitseigenschaft als das Trägermaterial und das Bilden einer Deckschicht auf einer Oberfläche der Unterschicht nach dem Bilden der Unterschicht umfassen. Die Deckschicht kann gebildet werden, nachdem das Trägermaterial der Hartlötbehandlung und der Stabilisierungsbehandlung unterzogen wurde, und die Auslagerungsbehandlung kann nach dem Bilden der Deckschicht durchgeführt werden.

**[0022]** Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung werden, nachdem die Unterschicht gebildet wurde, die Hartlötbehandlung und die Stabilisierungsbehandlung mit einer einzigen Wärmebehandlung durchgeführt, bevor die Deckschicht gebildet wird. Somit kann die Wärmebehandlung effizient in einem kurzen Zeitraum durchgeführt werden, und ein Riss in der Deckschicht kann verhindert werden.

**[0023]** Ferner kann die Unterschicht nach Durchführung der Hartlötbehandlung und der Stabilisierungsbehandlung durchgeführt werden.

**[0024]** Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird nach Durchführung der Hartlötbehandlung und der Stabilisierungsbehandlung die Unterschicht gebildet. Anschließend wird die Deckschicht gebildet. Wie vorstehend beschrieben, werden andere Prozesse wie die Wärmebehandlung nicht von der Bildung der Unterschicht bis zur Bildung der Deckschicht durchgeführt. Entsprechend wird verhindert, dass Fremdstoffe und dergleichen an der Oberfläche der Unterschicht haften. Wenn die Fremdstoffe und dergleichen an der Oberfläche haften, wird eine Verankerungswirkung der Unterschicht verschlechtert. Als Gegenmaßnahme wird in diesem modifizierten Beispiel verhindert, dass die Fremdstoffe und dergleichen anhaften, um eine Verschlechterung der Verankerungswirkung zu verhindern. Dadurch kann eine Verschlechterung der Haftkraft zwischen der Unterschicht und der Deckschicht verhindert werden.

**[0025]** Ferner kann das Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel außerdem das Bilden der Unterschicht auf der Oberfläche des Trägermaterials unter Verwendung eines metallischen Materials mit einer höheren Oxidationsbeständigkeitseigenschaft als das Trägermaterial und das Bilden der Deckschicht auf der Oberfläche der Unterschicht nach dem Bilden

der Unterschicht umfassen. Die Deckschicht kann gebildet werden, nachdem die Unterschicht gebildet wurde und das Trägermaterial der Hartlötbehandlung, der Stabilisierungsbehandlung und der Auslagerungsbehandlung unterzogen wurde.

**[0026]** Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung werden nach dem Bilden der Unterschicht die Hartlötbehandlung, die Stabilisierungsbehandlung und die Auslagerungsbehandlung sequenziell durchgeführt, bevor die Deckschicht gebildet wird. Somit kann die Wärmebehandlung effizient in einem kurzen Zeitraum durchgeführt werden, und ein Fleck und ein Riss in der Deckschicht können verhindert werden.

#### Vorteilhafte Auswirkung der Erfindung

**[0027]** Gemäß der vorliegenden Erfindung kann das Verfahren zur Herstellung der Turbinenschaufel, das in der Lage ist, den Aufwand in den Herstellungsschritten zu verringern, bereitgestellt werden.

#### Figurenliste

**Fig. 1** ist ein Flussdiagramm zum Veranschaulichen eines Beispiels eines Verfahrens zur Herstellung einer Turbinenschaufel gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

**Fig. 2** ist ein Diagramm zum Zeigen eines Beispiels einer zeitlichen Änderung einer Erwärmungstemperatur in einem Fall, in dem Hartlötbehandlung und Stabilisierungsbehandlung mit einer einzigen Wärmebehandlung durchgeführt werden.

**Fig. 3** ist ein Flussdiagramm zum Veranschaulichen eines Beispiels eines Verfahrens zur Herstellung einer Turbinenschaufel gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

**Fig. 4** ist ein Diagramm zum Darstellen eines Beispiels einer zeitlichen Änderung einer Erwärmungstemperatur in einem Fall, in dem Hartlötbehandlung, Stabilisierungsbehandlung und Auslagerungsbehandlung sequenziell durchgeführt werden.

**Fig. 5** ist ein Flussdiagramm zum Veranschaulichen eines Beispiels eines Verfahrens zur Herstellung einer Turbinenschaufel gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

**Fig. 6** ist ein Flussdiagramm zum Veranschaulichen eines Beispiels eines Verfahrens zur Herstellung einer Turbinenschaufel gemäß einem modifizierten Beispiel der vorliegenden Erfindung.

**Fig. 7** ist ein Flussdiagramm zum Veranschaulichen eines Beispiels eines Verfahrens zur Herstellung einer Turbinenschaufel gemäß einer vierten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

**Fig. 8** ist ein Diagramm zum Darstellen eines anderen Beispiels einer zeitlichen Änderung einer Erwärmungstemperatur in einem Fall, in dem Hartlötbehandlung, Stabilisierungsbehandlung und Auslagerungsbehandlung sequenziell durchgeführt werden.

**Fig. 9** ist eine mikrofotografische Ansicht zum Veranschaulichen eines Ausscheidungszustands einer  $\gamma'$ -Phase eines Trägermaterials einer Turbinenschaufel im Vergleichsbeispiel.

**Fig. 10** ist eine mikrofotografische Ansicht zum Veranschaulichen eines Ausscheidungszustands einer  $\gamma'$ -Phase eines Trägermaterials einer Turbinenschaufel in Beispiel 1.

**Fig. 11** ist eine mikrofotografische Ansicht zum Veranschaulichen eines Ausscheidungszustands einer  $\gamma'$ -Phase eines Trägermaterials einer Turbinenschaufel in Beispiel 2.

#### Beschreibung von Ausführungsformen

**[0028]** Unter Bezugnahme auf die Zeichnungen wird nun ein Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung beschrieben. Es ist zu beachten, dass die Erfindung nicht auf die Ausführungsformen beschränkt ist. Ferner schließen die Bestandteilelemente in den folgenden Ausführungsformen jene ein, die leicht von einem Fachmann ersetzt werden können, oder jene, die im Wesentlichen gleich sind.

#### <Erste Ausführungsform>

**[0029]** **Fig. 1** ist ein Flussdiagramm zum Veranschaulichen eines Beispiels eines Verfahrens zur Herstellung einer Turbinenschaufel gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Wie in **Fig. 1** veranschaulicht, umfasst ein Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel gemäß der ersten Ausführungsform einen Schritt des Bildens eines Trägermaterials einer Turbinenschaufel, wie einer Leitschaufel oder einer Laufschaufel, einer Gasturbine (Schritt **S10**), einen Schritt des Unterziehens des Trägermaterials einer Lösungsglühbehandlung (Schritt **S20**), einen Schritt des Unterziehens des Trägermaterials einer Hartlötbehandlung und einer Stabilisierungsbehandlung mit einer einzigen Wärmebehandlung (Schritt **S30**) und einen Schritt des Unterziehens des Trägermaterials einer Auslagerungsbehandlung (Schritt **S40**).

**[0030]** In Schritt **S10** wird das Trägermaterial gebildet, das eine Turbinenschaufel wie eine Leitschau-

fel und eine Laufschaufel bildet. Die Turbinenschaufeln sind in einer Hochtemperaturumgebung in der Gasturbine exponiert. Somit ist das Trägermaterial, das eine Turbinenschaufel bildet, aus einer Legierung gebildet, die eine hohe Wärmebeständigkeitseigenschaft aufweist, zum Beispiel eine Legierung auf Ni-Basis. Als Legierung auf Ni-Basis wird beispielsweise eine Legierung auf Ni-Basis beispielhaft angeführt, die Folgendes enthält: von 12,0 % bis 14,3 % Cr; von 8,5 % bis 11,0 % Co; von 1,0 % bis 3,5 % Mo; von 3,5 % bis 6,2 % W; von 3,0 % bis 5,5 % Ta; von 3,5 % bis 4,5 % Al; von 2,0 % bis 3,2 % Ti; von 0,04 % bis 0,12 % C; von 0,005 % bis 0,05 % B; und als Rest Ni und unvermeidbare Verunreinigungen. Ferner kann die Legierung auf Ni-Basis mit der vorstehend erwähnten Zusammensetzung von 0,001 ppm bis 5 ppm Zr enthalten. Ferner kann die Legierung auf Ni-Basis mit der vorstehend erwähnten Zusammensetzung von 1 ppm bis 100 ppm Mg und/oder Ca enthalten und kann ferner eines oder mehrere von Folgendem enthalten: von 0,02 % bis 0,5 % Pt; von 0,02 % bis 0,5 % Rh; und von 0,02 % bis 0,5 % Re. Die Legierung auf Ni-Basis mit der vorstehend erwähnten Zusammensetzung kann beide dieser Bedingungen erfüllen.

**[0031]** Das Trägermaterial wird aus dem vorstehend erwähnten Material durch Gießen, Schmieden und dergleichen gebildet. Wenn das Trägermaterial durch Gießen gebildet wird, kann das Trägermaterial, wie beispielsweise ein Material für konventionelles Gießen (CC), ein Material für gerichtete Erstarrung (DS) und ein Einkristall-(SC-)Material, gebildet werden. Im Folgenden wird ein Fall beschrieben, in dem ein Material für gerichtete Erstarrung beispielhaft als das Trägermaterial verwendet wird. Jedoch ist die vorliegende Erfindung nicht darauf beschränkt, und eine ähnliche Beschreibung kann selbst dann gegeben werden, wenn das Trägermaterial ein Material für konventionelles Gießen oder ein Einkristall-Material ist.

**[0032]** Bei der Lösungsglühbehandlung in Schritt **S20** wird die in dem vorhergehenden Schritt erzeugte Ausscheidung durch Erwärmen lösungsgeglüht, und eine Steigerung der Bestandteile wird reduziert. Bei der Lösungsglühbehandlung wird das Trägermaterial auf eine Temperatur von beispielsweise ungefähr 1200 °C erwärmt.

**[0033]** Bei der Hartlötbehandlung in Schritt **S30** wird das Trägermaterial mit einem darauf angeordneten Hartlötmaterial erwärmt, und das Hartlötmaterial wird geschmolzen und mit dem Trägermaterial verbunden. Als das Hartlötmaterial wird beispielsweise ein BNi-2-Äquivalentmaterial verwendet. In diesem Fall beträgt beispielsweise eine Solidustemperatur des Hartlötmaterials ungefähr 970 °C. Eine für die Hartlötbehandlung zu verwendende Menge des Hartlötmaterials wird im Voraus eingestellt, indem Tests und

dergleichen durchgeführt werden. Bei der Hartlötbehandlung wird die Wärmebehandlung bei einer ersten Temperatur **T1** durchgeführt, bei der das Hartlötmaterial geschmolzen werden kann. Die erste Temperatur **T1** kann beispielsweise auf 1060 °C bis 1100 °C eingestellt werden.

**[0034]** Bei der Stabilisierungsbehandlung in Schritt **S30** wird das Trägermaterial erwärmt, und eine  $\gamma'$ -Phase, die eine intermetallische Verbindung in dem Trägermaterial ist, wird vergrößert. Entsprechend werden eine Größe und eine Form der  $\gamma'$ -Phase und dergleichen vereinheitlicht. Bei der Stabilisierungsbehandlung kann die Wärmebehandlung beispielsweise bei der ersten Temperatur **T1** durchgeführt werden, die der Erwärmungstemperatur bei der Hartlötbehandlung entspricht.

**[0035]** In der ersten Ausführungsform, in Schritt **S30**, werden die Hartlötbehandlung und die Stabilisierungsbehandlung mit einer einzigen Wärmebehandlung durchgeführt. **Fig. 2** ist ein Diagramm zum Darstellen eines Beispiels der Wärmebehandlung in Schritt **S30**. In **Fig. 2** gibt eine horizontale Achse den Zeitpunkt an, und eine vertikale Achse gibt eine Temperatur an.

**[0036]** In Schritt **S30** wird das Trägermaterial mit dem darauf angeordneten Hartlötmaterial in einen vorher festgelegten Wärmeofen gelegt, und das Erwärmen wird durch Betreiben einer Heizvorrichtung des Wärmeofens gestartet (Zeitpunkt  $t_1$ ). Nach dem Start der Erwärmung steigt zuerst eine Ofeninnentemperatur (Erwärmungstemperatur) des Wärmeofens auf eine vorher festgelegte Vorwärmtemperatur **T0** an. Die Vorwärmtemperatur **T0** ist niedriger eingestellt als die Solidustemperatur des Hartlötmaterials und kann zum Beispiel von 930 °C bis 970 °C betragen. Wenn die Ofeninnentemperatur die Vorwärmtemperatur **T0** erreicht (Zeitpunkt  $t_2$ ), wird der Anstieg der Ofeninnentemperatur gestoppt. Anschließend wird die Wärmebehandlung (Vorwärmbehandlung) bei der Vorwärmtemperatur **T0** für einen vorher festgelegten Zeitraum durchgeführt. Mit der Vorwärmbehandlung steigen die Temperaturen des Trägermaterials und des Hartlötmaterials in einem gesamten Bereich gleichmäßig an, und eine Temperaturdifferenz zwischen den Abschnitten wird reduziert.

**[0037]** Nachdem die Vorwärmbehandlung für einen vorher festgelegten Zeitraum durchgeführt wurde (Zeitpunkt  $t_3$ ), steigt die Ofeninnentemperatur wieder an. Wenn die Ofeninnentemperatur die erste Temperatur **T1** erreicht (Zeitpunkt  $t_4$ ), wird ein Anstieg der Ofeninnentemperatur gestoppt. Anschließend wird die Wärmebehandlung bei der ersten Temperatur **T1** für einen vorher festgelegten Zeitraum durchgeführt. Mit der Wärmebehandlung bei der ersten Temperatur **T1** wird das Hartlötmaterial geschmolzen und mit dem Trägermaterial verbunden. Ferner

kann in dem Trägermaterial die  $\gamma'$ -Phase vergrößert werden, und die Größe und die Form der  $\gamma'$ -Phase und dergleichen können vereinheitlicht werden. Nachdem die Vorwärmbehandlung durchgeführt wurde, wird das Erwärmen bei der ersten Temperatur **T1** durchgeführt, wobei jeder Abschnitt des Trägermaterials gleichmäßig erwärmt wird. Somit kann das Hartlöten gleichmäßig durchgeführt werden, und die  $\gamma'$ -Phase wird in jedem Abschnitt des Trägermaterials gleichmäßig vergrößert. Nachdem die Wärmebehandlung bei der ersten Temperatur **T1** für einen vorher festgelegten Zeitraum durchgeführt wurde (Zeitpunkt **t5**), wird die Temperatur des Trägermaterials schnell mit einer Temperaturabsenkungsgeschwindigkeit von beispielsweise ungefähr 30 °C/min auf eine vorher festgelegte Kühltemperatur abgesenkt (Abschrecken), indem beispielsweise die Heizvorrichtung gestoppt wird und eine Kühlluft in den Wärmeofen zugeführt wird. Mit der Abschreckbehandlung wird der Zustand der  $\gamma'$ -Phase (Teilchendurchmesser und dergleichen) aufrechterhalten. Danach wird, wenn die Ofeninnentemperatur auf eine vorher festgelegte Kühltemperatur abgesenkt ist (Zeitpunkt **t6**), die Behandlung in Schritt **S30** abgeschlossen. Wie vorstehend beschrieben, werden in der ersten Ausführungsform die Hartlötbehandlung und die Stabilisierungsbehandlung mit einer einzigen Wärmebehandlung durchgeführt.

**[0038]** Bei der Auslagerungsbehandlung in Schritt **S40** wird das Trägermaterial, das der Stabilisierungsbehandlung unterzogen wurde, erwärmt. Entsprechend wird in dem Trägermaterial die bei der Stabilisierungsbehandlung vergrößerte  $\gamma'$ -Phase weiter vergrößert, und die  $\gamma'$ -Phase mit einem kleineren Durchmesser als derjenige der bei der Stabilisierungsbehandlung gebildeten  $\gamma'$ -Phase wird ausgeschieden. Die  $\gamma'$ -Phase mit einem kleineren Durchmesser erhöht die Festigkeit des Trägermaterials. Somit wird bei der Auslagerungsbehandlung die  $\gamma'$ -Phase mit einem kleineren Durchmesser ausgeschieden, um die Festigkeit des Trägermaterials zu erhöhen. Infolgedessen werden die Festigkeit und die Duktilität des Trägermaterials eingestellt. Das heißt, die Hartlötbehandlung, die gesamte Stabilisierungsbehandlung und die Auslagerungsbehandlung werden so durchgeführt, dass die Ausscheidung der  $\gamma'$ -Phase eingestellt werden kann und gleichzeitig die Festigkeit und die Duktilität erreicht werden können.

**[0039]** Bei der Auslagerungsbehandlung wird beispielsweise die Wärmebehandlung bei einer zweiten Temperatur **T2**, die niedriger als die erste Temperatur **T1** ist, für einen vorher festgelegten Zeitraum durchgeführt. Die zweite Temperatur **T2** kann beispielsweise auf 830 °C bis 870 °C eingestellt werden. Nachdem die Auslagerungsbehandlung für einen vorher festgelegten Zeitraum durchgeführt wurde, wird die Temperatur des Trägermaterials schnell mit einer Temperaturabsenkungsge-

schwindigkeit von beispielsweise ungefähr 30 °C/min auf eine vorher festgelegte Kühltemperatur abgesenkt (Abschrecken), indem beispielsweise die Heizvorrichtung des Wärmeofens gestoppt wird und eine Kühlluft in den Wärmeofen zugeführt wird.

**[0040]** Wie vorstehend beschrieben, werden in der ersten Ausführungsform mit der einen Wärmebehandlung die Hartlötbehandlung und die Lösungsglühbehandlung durchgeführt, und daher ist die Arbeit des erneuten Hinzufügens des Hartlötmaterials selbst nicht erforderlich. Dadurch kann der Aufwand in den Herstellungsschritten verringert werden. Ferner werden zwei Behandlungsarten, welche die Hartlötbehandlung und die Stabilisierungsbehandlung einschließen, zusammen durchgeführt. Somit kann eine effiziente Behandlung für einen kurzen Zeitraum erreicht werden.

#### <Zweite Ausführungsform>

**[0041]** Fig. 3 ist ein Flussdiagramm zum Veranschaulichen eines Beispiels eines Verfahrens zur Herstellung einer Turbinenschaufel gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Wie in Fig. 3 veranschaulicht, umfasst das Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel gemäß der zweiten Ausführungsform beispielsweise einen Schritt des Bildens des Trägermaterials einer Turbinenschaufel (Schritt **S110**), einen Schritt des Unterziehens des Trägermaterials der Lösungsglühbehandlung (Schritt **S120**) und einen Schritt des Unterziehens des Trägermaterials der Hartlötbehandlung, der Stabilisierungsbehandlung und der Auslagerungsbehandlung (Schritt **S130**). Schritt **S110** und Schritt **S120** sind ähnlich zu Schritt **S10** bzw. Schritt **S20** in der ersten Ausführungsform, und daher wird eine Beschreibung davon ausgelassen.

**[0042]** In der zweiten Ausführungsform werden in Schritt **S130** die Hartlötbehandlung, die Stabilisierungsbehandlung und die Auslagerungsbehandlung sequenziell durchgeführt. Fig. 4 ist ein Diagramm zum Zeigen eines Beispiels der Wärmebehandlung in Schritt **S130**. In Fig. 4 gibt eine horizontale Achse den Zeitpunkt an, und eine vertikale Achse gibt eine Temperatur an.

**[0043]** In ähnlicher Weise wie bei der ersten Ausführungsform wird in Schritt **S130** die Vorwärmbehandlung bei der Vorwärmtemperatur **T0** durchgeführt (von Zeitpunkt **t1** bis Zeitpunkt **t4**), und nach der Vorwärmbehandlung wird die Wärmebehandlung als Hartlötbehandlung und Stabilisierungsbehandlung bei der ersten Temperatur **T1** durchgeführt (von Zeitpunkt **t4** bis Zeitpunkt **t5**).

**[0044]** Nachdem die Wärmebehandlung bei der ersten Temperatur **T1** für einen vorher festgelegten Zeitraum durchgeführt wurde (Zeitpunkt **t5**), wird eine

Einstellungsbehandlung, bei der die Ofeninnentemperatur auf die zweite Temperatur **T2** abgesenkt wird, beispielsweise durch Stoppen des Betriebs der Heizvorrichtung, durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt wird die Temperatur des Trägermaterials mit einer Temperaturabsenkungsgeschwindigkeit von beispielsweise 3 °C/min bis 20 °C/min abgesenkt. Daher wird, verglichen mit der ersten Ausführungsform, nach der Stabilisierungsbehandlung (Zeitpunkt t5 und später) die Temperatur langsam abgesenkt.

**[0045]** Wenn die Ofeninnentemperatur die zweite Temperatur **T2** erreicht (Zeitpunkt t7), wird die Wärmebehandlung als Auslagerungsbehandlung in einem Zustand durchgeführt, in dem die Heizvorrichtung betrieben wird, um die Ofeninnentemperatur auf die zweite Temperatur **T2** einzustellen. Somit wird nach der Stabilisierungsbehandlung die Ofeninnentemperatur auf die zweite Temperatur **T2** zum Durchführen der Auslagerungsbehandlung geändert, und die Auslagerungsbehandlung wird sequenziell durchgeführt, ohne den Wärmeofen auf eine vorher festgelegte Kühltemperatur zu kühlen. Wie vorstehend beschrieben, werden in der zweiten Ausführungsform die Hartlötbehandlung, die Stabilisierungsbehandlung und die Auslagerungsbehandlung sequenziell durchgeführt.

**[0046]** In ähnlicher Weise wie bei der ersten Ausführungsform wird bei der Auslagerungsbehandlung beispielsweise die Wärmebehandlung bei der zweiten Temperatur **T2**, die niedriger als die erste Temperatur **T1** ist, für einen vorher festgelegten Zeitraum durchgeführt. Die zweite Temperatur **T2** kann beispielsweise auf 830 °C bis 870 °C eingestellt werden. In der zweiten Ausführungsform wird selbst dann, wenn die Temperatur nach der Stabilisierungsbehandlung langsam abgesenkt wird, die  $\gamma'$ -Phase vergrößert, und die  $\gamma'$ -Phase mit einem kleineren Durchmesser wird bei der Auslagerungsbehandlung in ähnlicher Weise wie in dem Fall, in dem die Abschreckung in der ersten Ausführungsform durchgeführt wird, ausgeschrieben. Somit wird das Trägermaterial mit ausgezeichneter Festigkeit und Duktilität gebildet.

**[0047]** Nachdem die Auslagerungsbehandlung für einen vorher festgelegten Zeitraum durchgeführt wurde (Zeitpunkt t8), wird die Temperatur des Trägermaterials schnell mit einer Temperaturabsenkungsgeschwindigkeit von beispielsweise ungefähr 30 °C/min auf eine vorher festgelegte Kühltemperatur abgesenkt (Abschrecken), indem beispielsweise die Heizvorrichtung des Wärmeofens gestoppt wird und eine Kühlluft in den Wärmeofen zugeführt wird. Nachdem die Ofeninnentemperatur sich auf eine vorher festgelegte Temperatur geändert hat (Zeitpunkt t9), wird das Trägermaterial aus dem Wärmeofen entnommen. Auf diese Weise wird die Wärmebehandlung abgeschlossen.

**[0048]** Wie vorstehend beschrieben, werden in der zweiten Ausführungsform die Hartlötbehandlung, die Stabilisierungsbehandlung und die Auslagerungsbehandlung sequenziell durchgeführt. Somit kann ein Zeitraum der Wärmebehandlung weiter verkürzt werden. Ferner wird, nachdem die Hartlötbehandlung und die Stabilisierungsbehandlung bei der ersten Temperatur **T1** durchgeführt wurden, die Einstellungsbehandlung zum Einstellen der zweiten Temperatur, die eine Erwärmungstemperatur für die Auslagerungsbehandlung ist, durchgeführt. Dadurch kann die Wärme in dem Wärmeofen effizient genutzt werden.

#### <Dritte Ausführungsform>

**[0049]** Fig. 5 ist ein Flussdiagramm zum Veranschaulichen eines Beispiels eines Verfahrens zur Herstellung einer Turbinenschaufel gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Wie in Fig. 5 veranschaulicht, umfasst das Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel gemäß der dritten Ausführungsform zusätzlich zu den Schritten in dem Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel gemäß der ersten Ausführungsform einen Schritt des Bildens einer Unterschicht und einer Deckschicht auf dem Trägermaterial. Die Unterschicht und die Deckschicht sind als Wärmesperrschicht (TBC) ausgebildet, um eine Turbinenschaufel einer Gasturbine vor einer hohen Temperatur zu schützen.

**[0050]** Das Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel gemäß der dritten Ausführungsform umfasst zum Beispiel einen Schritt des Bildens des Trägermaterials einer Turbinenschaufel (Schritt **S210**), einen Schritt des Unterziehens des Trägermaterials der Lösungsglühbehandlung (Schritt **S220**), einen Schritt des Bildens der Unterschicht auf dem Trägermaterial (Schritt **S230**), einen Schritt des Unterziehens des Trägermaterials der Hartlötbehandlung und der Stabilisierungsbehandlung mit einer einzigen Wärmebehandlung (Schritt **S240**), einen Schritt des Bildens der Deckschicht auf dem Trägermaterial (Schritt **S250**) und einen Schritt des Unterziehens des Trägermaterials der Auslagerungsbehandlung (Schritt **S260**).

**[0051]** Schritt **S210** und Schritt **S220** sind ähnlich zu Schritt **S10** bzw. Schritt **S20** in der ersten Ausführungsform, und daher wird eine Beschreibung davon ausgelassen. Nach Schritt **S220**, bevor die Unterschicht gebildet wird, kann eine Oberfläche des Trägermaterials einer Strahlbehandlung zum Aufräumen der Oberfläche des Trägermaterials unterzogen werden, indem beispielsweise Aluminiumoxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) auf die Oberfläche des Trägermaterials aufgebracht wird. Ferner kann nach der Strahlbehandlung eine Reinigungsbehandlung zum Reinigen der Oberfläche des Trägermaterials durchgeführt werden.

**[0052]** In Schritt **S230** wird die Unterschicht auf der Oberfläche des Trägermaterials gebildet. Die Unterschicht verhindert eine Oxidation des Trägermaterials und verbessert die Haftkraft der Deckschicht. Als ein Material der Unterschicht wird beispielsweise ein Legierungsmaterial wie MCrAlY mit einer höheren Oxidationsbeständigkeitseigenschaft als das Trägermaterial verwendet. In Schritt **S230** werden beispielsweise, nachdem die Oberfläche des Trägermaterials erwärmt wurde, das vorstehend erwähnte Legierungsmaterial und dergleichen geschmolzen und auf die Oberfläche des Trägermaterials aufgebracht, um die Unterschicht zu bilden.

**[0053]** Nachdem die Unterschicht gebildet wurde, werden in Schritt **S240** die Hartlötbehandlung und die Stabilisierungsbehandlung mit einer einzigen Wärmebehandlung durchgeführt. Die Wärmebehandlung wird in einer ähnlichen Reihenfolge wie in Schritt **S30** in der ersten Ausführungsform durchgeführt. Daher wird, nachdem das Trägermaterial mit der darauf gebildeten Unterschicht der Vorwärmbehandlung bei der Vorwärmtemperatur **T0** (beispielsweise von 930 °C bis 970 °C) unterzogen wurde, das Erwärmen bei der ersten Temperatur **T1** (beispielsweise von 1060 °C bis 1100 °C) durchgeführt. In Schritt **S240** wird die Wärmebehandlung bei der vorstehend beschriebenen Temperatur durchgeführt. Entsprechend breitet sich die Unterschicht auf der aufgerauten Oberfläche des Trägermaterials aus, und die Haftkraft zwischen der Oberfläche des Trägermaterials und der Unterschicht wird verbessert.

**[0054]** Nach der Hartlötbehandlung und der Stabilisierungsbehandlung wird in Schritt **S250** die Deckschicht auf einer Oberfläche der Unterschicht gebildet. Die Deckschicht schützt die Oberfläche des Trägermaterials vor einer hohen Temperatur. Als Material der Deckschicht wird ein Material mit einer geringen Wärmeleitfähigkeit wie Keramik verwendet. Als Keramik wird ein Material verwendet, das beispielsweise Zirkondioxid als Hauptbestandteil enthält. In Schritt **S250** wird beispielsweise das vorstehend erwähnte Material durch atmosphärisches Plasmaspritzen auf die Oberfläche der Unterschicht aufgebracht, um die Deckschicht zu bilden.

**[0055]** Nachdem die Deckschicht gebildet wurde, wird in Schritt **S260** die Auslagerungsbehandlung durchgeführt. In ähnlicher Weise wie bei der ersten Ausführungsform wird bei der Auslagerungsbehandlung beispielsweise die Wärmebehandlung bei der zweiten Temperatur **T2**, die niedriger als die erste Temperatur **T1** ist, für einen vorher festgelegten Zeitraum durchgeführt. Die zweite Temperatur **T2** kann beispielsweise auf 830 °C bis 870 °C eingestellt werden. Es ist zu beachten, dass die Auslagerungsbehandlung durchgeführt werden kann, bevor die Deckschicht gebildet wird. Das heißt, nach der Hartlötbehandlung und der Stabilisierungsbehandlung wird die

Auslagerungsbehandlung sequenziell durchgeführt. Danach kann die Deckschicht gebildet werden.

**[0056]** Wenn das Trägermaterial mit der darauf gebildeten Deckschicht der Wärmebehandlung bei einer Temperatur von mehr als 870 °C unterzogen wird, kann ein Fleck, ein Riss und dergleichen in der Deckschicht gebildet werden. In der dritten Ausführungsform werden nach dem Bilden der Unterschicht die Hartlötbehandlung und die Stabilisierungsbehandlung mit einer einzigen Wärmebehandlung durchgeführt, bevor die Deckschicht gebildet wird. Somit kann die Wärmebehandlung effizient in einem kurzen Zeitraum durchgeführt werden, und ein Riss in der Deckschicht kann verhindert werden.

**[0057]** Es ist zu beachten, dass in der dritten Ausführungsform der Fall beispielhaft angeführt wird, bei dem die Hartlötbehandlung und die Stabilisierungsbehandlung durchgeführt werden, nachdem die Unterschicht gebildet wurde. Jedoch ist die vorliegende Erfindung nicht darauf beschränkt. **Fig. 6** ist ein Flussdiagramm zum Veranschaulichen eines Beispiels eines Verfahrens zur Herstellung einer Turbinenschaufel gemäß einem modifizierten Beispiel der vorliegenden Erfindung. Wie in **Fig. 6** veranschaulicht, sind in dem Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel gemäß dem modifizierten Beispiel Schritt **S210** und Schritt **S220** ähnlich der dritten Ausführungsform. Jedoch unterscheiden sich die folgenden Punkte von der dritten Ausführungsform. Das heißt, nach Schritt **S220** werden die Hartlötbehandlung und die Stabilisierungsbehandlung durchgeführt (Schritt **S240A**), und nach der Hartlötbehandlung und der Stabilisierungsbehandlung wird die Unterschicht gebildet (Schritt **S230A**). Nachdem die Unterschicht gebildet wurde, wird die Deckschicht ohne Durchführung der Wärmebehandlung gebildet (Schritt **S250**). Ferner wird, in ähnlicher Weise wie bei der dritten Ausführungsform, nach dem Bilden der Deckschicht die Auslagerungsbehandlung durchgeführt (Schritt **S260**).

**[0058]** Nach dem Bilden der Unterschicht und vor dem Bilden der Deckschicht wird die Wärmebehandlung nicht durchgeführt, sodass verhindert wird, dass Fremdstoffe und dergleichen an der Oberfläche der Unterschicht haften. Wenn die Fremdstoffe und dergleichen an der Oberfläche haften, wird eine Verankerungswirkung der Unterschicht verschlechtert. Als Gegenmaßnahme wird in diesem modifizierten Beispiel verhindert, dass die Fremdstoffe und dergleichen anhaften, um eine Verschlechterung der Verankerungswirkung zu verhindern. Dadurch kann eine Verschlechterung der Haftkraft zwischen der Unterschicht und der Deckschicht verhindert werden.



## &lt;Vierte Ausführungsform&gt;

**[0059]** Fig. 7 ist ein Flussdiagramm zum Veranschaulichen eines Beispiels eines Verfahrens zur Herstellung einer Turbinenschaufel gemäß einer vierten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Wie in Fig. 7 veranschaulicht, umfasst das Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel gemäß der vierten Ausführungsform zusätzlich zu den Schritten in dem Verfahren zur Herstellung einer Turbine gemäß der zweiten Ausführungsform den Schritt des Bildens der Unterschicht und der Deckschicht auf dem Trägermaterial.

**[0060]** Das Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel gemäß der vierten Ausführungsform umfasst zum Beispiel einen Schritt des Bildens des Trägermaterials einer Turbinenschaufel (Schritt **S310**), einen Schritt des Unterziehens des Trägermaterials der Lösungsglühbehandlung (Schritt **S320**), einen Schritt des Bildens der Unterschicht auf dem Trägermaterial (Schritt **S330**), einen Schritt des Unterziehens des Trägermaterials der Hartlötbehandlung, der Stabilisierungsbehandlung und der Auslagerungsbehandlung (Schritt **S340**) und einen Schritt des Bildens der Deckschicht auf dem Trägermaterial (Schritt **S350**).

**[0061]** Schritt **S310** und Schritt **S320** sind ähnlich wie Schritt **S10** bzw. Schritt **S20** in der ersten Ausführungsform. Ferner ist die Konfiguration, in der nach Schritt **S320** und vor dem Bilden der Unterschicht die Strahlbehandlung und die Reinigungsbehandlung durchgeführt werden und danach die Unterschicht in Schritt **S330** gebildet wird, ähnlich zu derjenigen in der dritten Ausführungsform.

**[0062]** Nachdem die Unterschicht gebildet wurde, werden in Schritt **S340** die Hartlötbehandlung, die Stabilisierungsbehandlung und die Auslagerungsbehandlung sequenziell durchgeführt. Die Wärmebehandlung wird in einer ähnlichen Reihenfolge wie in Schritt **S130** in der zweiten Ausführungsform durchgeführt. Daher wird, nachdem das Trägermaterial mit der darauf gebildeten Unterschicht der Vorwärmbehandlung bei der Vorwärmtemperatur **T0** (beispielsweise von 930 °C bis 970 °C) unterzogen wurde, die Wärmebehandlung als Hartlötbehandlung und Stabilisierungsbehandlung bei der ersten Temperatur **T1** (beispielsweise von 1060 °C bis 1100 °C) durchgeführt. Danach wird die Einstellungsbehandlung durchgeführt, und die Wärmebehandlung als Auslagerungsbehandlung wird sequenziell bei der zweiten Temperatur **T2** (beispielsweise von 830 °C bis 870 °C) durchgeführt. In Schritt **S340** wird die Wärmebehandlung bei der vorstehend beschriebenen Temperatur durchgeführt. Entsprechend breitet sich die Unterschicht auf der aufgerauten Oberfläche des Trägermaterials aus, und die Haftkraft zwischen

der Oberfläche des Trägermaterials und der Unterschicht wird verbessert.

**[0063]** Nachdem die Hartlötbehandlung, die Stabilisierungsbehandlung und die Auslagerungsbehandlung sequenziell durchgeführt wurden, wird in Schritt **S350** die Deckschicht auf der Oberfläche der Unterschicht gebildet. In Schritt **S350** wird die Deckschicht in einer ähnlichen Reihenfolge wie in Schritt **S250** in der dritten Ausführungsform gebildet.

**[0064]** In der vierten Ausführungsform werden, nachdem die Unterschicht gebildet wurde, die Hartlötbehandlung, die Stabilisierungsbehandlung und die Auslagerungsbehandlung sequenziell durchgeführt, bevor die Deckschicht gebildet wird. Somit kann die Wärmebehandlung effizient in einem kurzen Zeitraum durchgeführt werden, und ein Fleck und ein Riss in der Deckschicht können verhindert werden.

**[0065]** Der technische Umfang der vorliegenden Erfindung ist nicht auf die vorstehend erwähnten Ausführungsformen beschränkt und kann gegebenenfalls geändert werden, ohne vom Schutzzumfang der vorliegenden Erfindung abzuweichen. In der vorstehend beschriebenen zweiten Ausführungsform wird, nach der Stabilisierungsbehandlung und wenn die Einstellungsbehandlung zum Absenken der Ofeninnentemperatur auf die zweite Temperatur **T2** durchgeführt wird, das Trägermaterial mit einer Temperaturabsenkungsgeschwindigkeit von 3 °C/min bis 20 °C/min gekühlt. Jedoch ist die vorliegende Erfindung nicht auf dieses Beispiel beschränkt.

**[0066]** Fig. 8 ist ein Diagramm zum Zeigen eines anderen Beispiels einer zeitlichen Änderung einer Ofeninnentemperatur in einem Fall, in dem Hartlötbehandlung, Stabilisierungsbehandlung und Auslagerungsbehandlung sequenziell durchgeführt werden. Wie in Fig. 8 gezeigt, kann das Trägermaterial nach der Stabilisierungsbehandlung mit einer Temperaturabsenkungsgeschwindigkeit von beispielsweise ungefähr 30 °C/min gekühlt werden, und die Heizvorrichtung kann betrieben werden, wenn die Temperatur des Trägermaterials bei einer dritten Temperatur **T3** liegt, die niedriger als die zweite Temperatur **T2** ist (Zeitpunkt **t10**). Die dritte Temperatur **T3** kann auf eine Temperatur von beispielsweise ungefähr 530 °C bis ungefähr 570 °C eingestellt werden.

**[0067]** Nachdem die Heizvorrichtung betrieben wurde, wird, wenn die Ofeninnentemperatur ansteigt, um die zweite Temperatur **T2** zu erreichen (Zeitpunkt **t11**), ein Anstieg der Ofeninnentemperatur gestoppt, und die Auslagerungsbehandlung wird in dem Wärmeofen bei der zweiten Temperatur **T2** durchgeführt. Danach wird in ähnlicher Weise wie bei der zweiten Ausführungsform, nachdem die Auslagerungsbehandlung für einen vorher festgelegten Zeitraum durchgeführt wurde (Zeitpunkt **t12**), die Tem-

peratur des Trägermaterials schnell mit einer Temperaturabsenkungsgeschwindigkeit von beispielsweise ungefähr 30 °C/min auf eine vorher festgelegte Kühltemperatur abgesenkt (Abschrecken), indem beispielsweise die Heizvorrichtung des Wärmeofens gestoppt wird und eine Kühlluft in den Wärmeofen zugeführt wird. Nachdem die Ofeninnentemperatur sich auf eine vorher festgelegte Temperatur geändert hat (Zeitpunkt **t13**), wird das Trägermaterial aus dem Wärmeofen entnommen. Auf diese Weise wird die Wärmebehandlung abgeschlossen. Selbst wenn sich die Temperatur wie vorstehend beschrieben ändert, kann ein Zeitraum für die Wärmebehandlung verkürzt werden. Ferner wird, nachdem die Hartlötbehandlung und die Stabilisierungsbehandlung bei der ersten Temperatur **T1** durchgeführt wurden, die Einstellungsbehandlung zum Einstellen der zweiten Temperatur **T2**, die eine Erwärmungstemperatur für die Auslagerungsbehandlung ist, durchgeführt. Dadurch kann die Wärme in dem Wärmeofen effizient genutzt werden. Es ist zu beachten, dass nach der Stabilisierungsbehandlung, wenn das Trägermaterial mit einer Temperaturabsenkungsgeschwindigkeit von beispielsweise ungefähr 30 °C/min gekühlt wird, um die Ofeninnentemperatur auf die zweite Temperatur **T2** zu ändern, die Auslagerungsbehandlung in dem Wärmeofen bei der zweiten Temperatur **T2** durchgeführt werden kann.

**[0068]** Ferner wird in den vorstehend erwähnten Ausführungsformen, wenn die Temperatur des Trägermaterials bei der Einstellungsbehandlung von der ersten Temperatur **T1** abgesenkt wird, die Heizvorrichtung gestoppt, um die Temperatur des Trägermaterials abzusinken. Jedoch ist die vorliegende Erfindung nicht auf dieses Beispiel beschränkt. Zum Beispiel kann die Heizvorrichtung gestoppt werden, und eine Kühlluft kann dem Wärmeofen zugeführt werden, sodass die Temperatur des Trägermaterials abgesenkt wird. Dadurch kann eine Temperaturabsenkungsgeschwindigkeit für die Temperatur des Trägermaterials erhöht werden, und die Temperatur des Trägermaterials kann in einem kurzen Zeitraum abgesenkt werden.

#### Beispiele

**[0069]** Als Nächstes werden Beispiele der vorliegenden Erfindung beschrieben. In den Beispielen werden mehrere Trägermaterialien durch Gießen aus einer Legierung auf Ni-Basis mit der in den vorstehend erwähnten Ausführungsformen beschriebenen Zusammensetzung gebildet. Die mehreren Trägermaterialien werden als Materialien für gerichtete Erstarrung gebildet. In Beispiel 1 wird das Trägermaterial unter den mehreren Trägermaterialien sequenziell der Hartlötbehandlung, der Stabilisierungsbehandlung und der Auslagerungsbehandlung unter der in **Fig. 4** gezeigten Temperaturänderung in der zweiten Ausführungsform unterzogen. In Beispiel 1 wird

die erste Temperatur **T1** auf 1090 °C eingestellt, und die zweite Temperatur **T2** wird auf 860 °C eingestellt. Ferner wird bei der Einstellungsbehandlung von der ersten Temperatur **T1** auf die zweite Temperatur **T2** die Temperatur des Trägermaterials mit einer Temperaturabsenkungsgeschwindigkeit von 5 °C/min abgesenkt.

**[0070]** Ferner wird in Beispiel 2 das Trägermaterial unter den mehreren Trägermaterialien sequenziell der Hartlötbehandlung, der Stabilisierungsbehandlung und der Auslagerungsbehandlung unter der in **Fig. 8** gezeigten Temperaturänderung unterzogen. In Beispiel 2 wird die erste Temperatur **T1** auf 1070 °C eingestellt, und die zweite Temperatur **T2** wird auf 840 °C eingestellt. Ferner wird bei der Einstellungsbehandlung von der ersten Temperatur **T1** auf die zweite Temperatur **T2** die Temperatur des Trägermaterials mit einer Temperaturabsenkungsgeschwindigkeit von 15 °C/min abgesenkt.

**[0071]** Ferner wird im Vergleichsbeispiel das Trägermaterial unter den mehreren Trägermaterialien unabhängig der Hartlötbehandlung, der Stabilisierungsbehandlung und der Auslagerungsbehandlung unterzogen. Im Vergleichsbeispiel werden die Hartlötbehandlung und die Stabilisierungsbehandlung bei 1080 °C durchgeführt. Nach der Hartlötbehandlung und nach der Stabilisierungsbehandlung wird die Temperatur des Trägermaterials mit einer Temperaturabsenkungsgeschwindigkeit von 30 °C/min abgesenkt. Ferner wird im Vergleichsbeispiel die Auslagerungsbehandlung bei 850 °C durchgeführt.

**[0072]** **Fig. 9** ist eine mikrofotografische Ansicht zum Veranschaulichen eines Ausscheidungszustands einer  $\gamma'$ -Phase eines Trägermaterials einer Turbinenschaufel im Vergleichsbeispiel. **Fig. 10** ist eine mikrofotografische Ansicht zum Veranschaulichen eines Ausscheidungszustands einer  $\gamma'$ -Phase eines Trägermaterials einer Turbinenschaufel in Beispiel 1. **Fig. 11** ist eine mikrofotografische Ansicht zum Veranschaulichen eines Ausscheidungszustands einer  $\gamma'$ -Phase eines Trägermaterials einer Turbinenschaufel in Beispiel 2.

**[0073]** Wie aus **Fig. 9** zu sehen ist, sind bei dem Trägermaterial im Vergleichsbeispiel die  $\gamma'$ -Phase, die durch die Stabilisierungsbehandlung ausgeschieden und vergrößert wird, und die  $\gamma'$ -Phase mit einem kleineren Durchmesser, die durch die Auslagerungsbehandlung ausgeschieden wird, in einer ausgewogenen Weise vorhanden. Im Vergleich dazu sind, wie aus **Fig. 10** und **Fig. 11** zu sehen ist, bei den Trägermaterialien in Beispiel 1 und Beispiel 2, in ähnlicher Weise wie bei dem Trägermaterial im Vergleichsbeispiel, die  $\gamma'$ -Phase, die durch die Stabilisierungsbehandlung ausgeschieden und vergrößert wird, und die  $\gamma'$ -Phase mit einem kleineren Durchmesser, die

durch die Auslagerungsbehandlung ausgeschieden wird, in einer ausgewogenen Weise vorhanden.

**[0074]** Daher werden in den Beispielen die Hartlötbehandlung, die Stabilisierungsbehandlung und die Auslagerungsbehandlung sequenziell durchgeführt. Somit kann ein Zeitraum der Wärmebehandlung verkürzt werden. Ferner kann der Ausscheidungszustand der  $\gamma'$ -Phase, der ähnlich demjenigen im Vergleichsbeispiel ist, in dem die Hartlötbehandlung, die Stabilisierungsbehandlung und die Auslagerungsbehandlung unabhängig durchgeführt werden, erhalten werden.

#### Bezugszeichenliste

- T0** Vorwärmtemperatur
- T1** Erste Temperatur
- T2** Zweite Temperatur

**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 2002103031 A [0004]

**Patentansprüche**

1. Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel, wobei das Verfahren Folgendes umfasst: eine Hartlötbehandlung zum Verbinden eines Hartlötmaterials mit einem Trägermaterial einer Turbinenschaufel durch Erwärmen des Trägermaterials mit dem darauf angeordneten Hartlötmaterial und Schmelzen des Hartlötmaterials; eine Stabilisierungsbehandlung zum Erwärmen des Trägermaterials, das der Hartlötbehandlung unterzogen wurde; und eine Auslagerungsbehandlung zum Erwärmen des Trägermaterials, das der Stabilisierungsbehandlung unterzogen wurde, wobei die Hartlötbehandlung und die Stabilisierungsbehandlung mit einer einzigen Wärmebehandlung durchgeführt werden.

2. Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel nach Anspruch 1, wobei die Hartlötbehandlung und die Stabilisierungsbehandlung bei einer ersten, über einer Liquidustemperatur des Hartlötmaterials liegenden Temperatur durchgeführt werden, bei der eine in dem Trägermaterial ausgeschiedene  $\gamma$ -Phase vergrößert wird.

3. Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Hartlötbehandlung, die Stabilisierungsbehandlung und die Auslagerungsbehandlung sequenziell durchgeführt werden.

4. Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel nach Anspruch 1 oder 2, ferner umfassend eine Einstellungsbehandlung zum Einstellen einer Erwärmungstemperatur für die Auslagerungsbehandlung auf eine zweite Temperatur, nachdem die Hartlötbehandlung und die Stabilisierungsbehandlung bei der ersten Temperatur durchgeführt wurden.

5. Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel nach Anspruch 4, wobei die zweite Temperatur niedriger als die erste Temperatur ist.

6. Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel nach Anspruch 4 oder 5, wobei die Hartlötbehandlung, die Stabilisierungsbehandlung und die Auslagerungsbehandlung in einem vorher festgelegten Wärmeofen, der eine Heizvorrichtung umfasst, durchgeführt werden, und wobei bei der Einstellungsbehandlung eine Ofeninnentemperatur durch Stoppen der Heizvorrichtung oder durch Stoppen der Heizvorrichtung und Zuführen einer Kühlluft zu dem Wärmeofen abgesenkt wird.

7. Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel nach einem der Ansprüche 4 bis 6, wobei bei der Einstellungsbehandlung die Heizvorrichtung betrieben wird und die Ofeninnentemperatur auf die zweite Temperatur ansteigt, nachdem die Ofeninnentempe-

ratur auf eine dritte Temperatur, die niedriger als die zweite Temperatur ist, abgesenkt wurde.

8. Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei das Verfahren ferner Folgendes umfasst: das Bilden einer Unterschicht auf einer Oberfläche des Trägermaterials unter Verwendung eines metallischen Materials mit einer höheren Oxidationsbeständigkeitseigenschaft als das Trägermaterial; und das Bilden einer Deckschicht auf einer Oberfläche der Unterschicht, nachdem die Unterschicht gebildet wurde, wobei die Deckschicht gebildet wird, nachdem das Trägermaterial der Hartlötbehandlung und der Stabilisierungsbehandlung unterzogen wurde, und wobei die Auslagerungsbehandlung durchgeführt wird, nachdem die Deckschicht gebildet wurde.

9. Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel nach Anspruch 8, wobei die Unterschicht gebildet wird, nachdem die Hartlötbehandlung und die Stabilisierungsbehandlung durchgeführt wurden.

10. Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei das Verfahren ferner Folgendes umfasst: das Bilden einer Unterschicht auf einer Oberfläche des Trägermaterials unter Verwendung eines metallischen Materials mit einer höheren Oxidationsbeständigkeitseigenschaft als das Trägermaterial; und das Bilden einer Deckschicht auf einer Oberfläche der Unterschicht, nachdem die Unterschicht gebildet wurde, wobei die Deckschicht gebildet wird, nachdem die Unterschicht gebildet wurde und das Trägermaterial der Hartlötbehandlung, der Stabilisierungsbehandlung und der Auslagerungsbehandlung unterzogen wurde.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

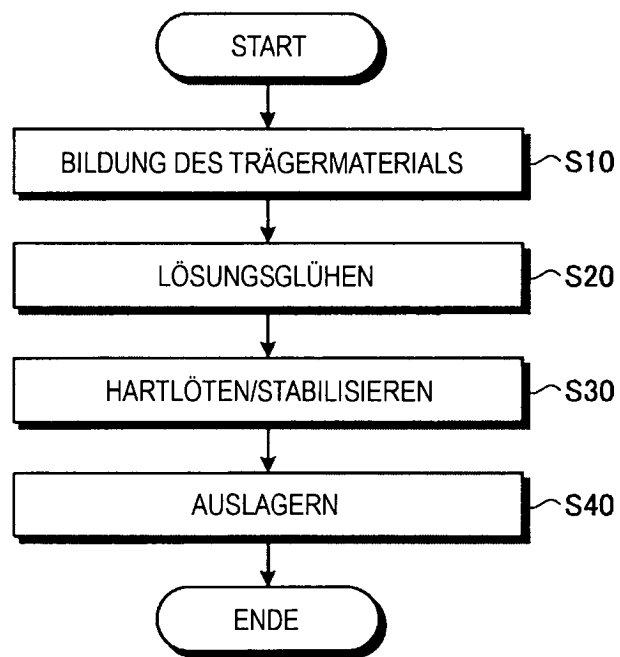


FIG. 1

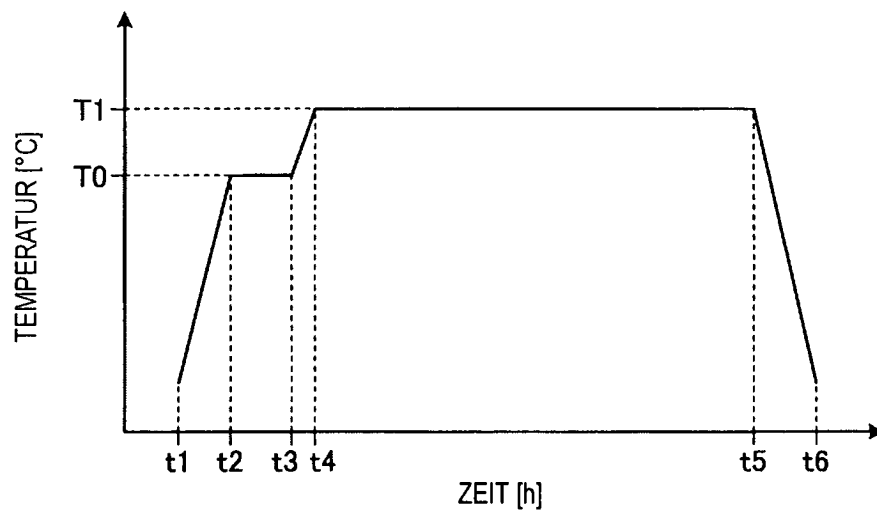


FIG. 2

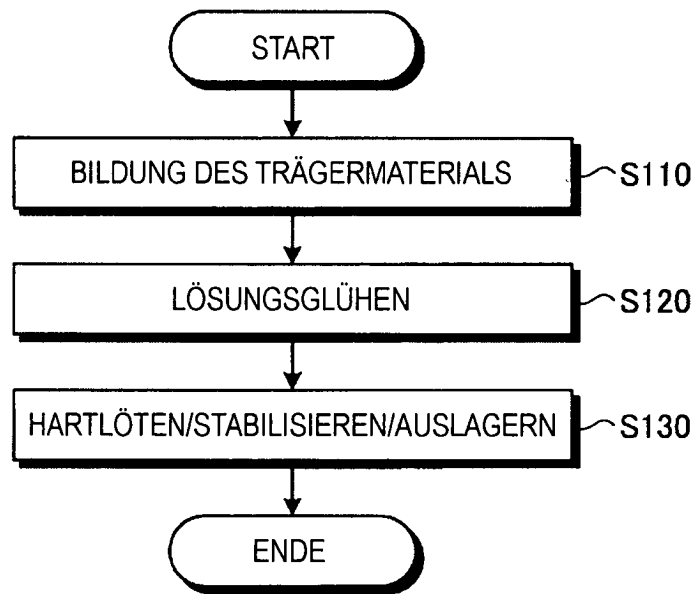


FIG. 3

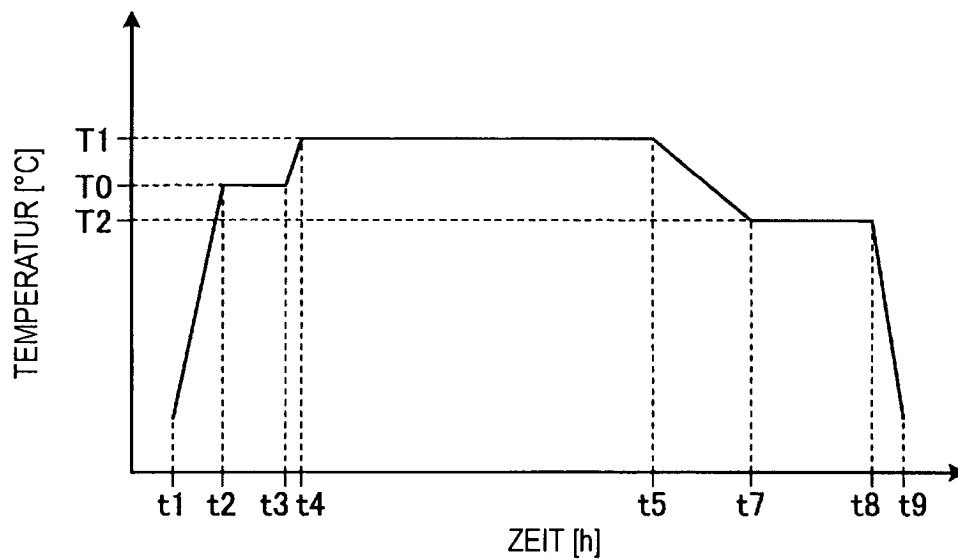


FIG. 4

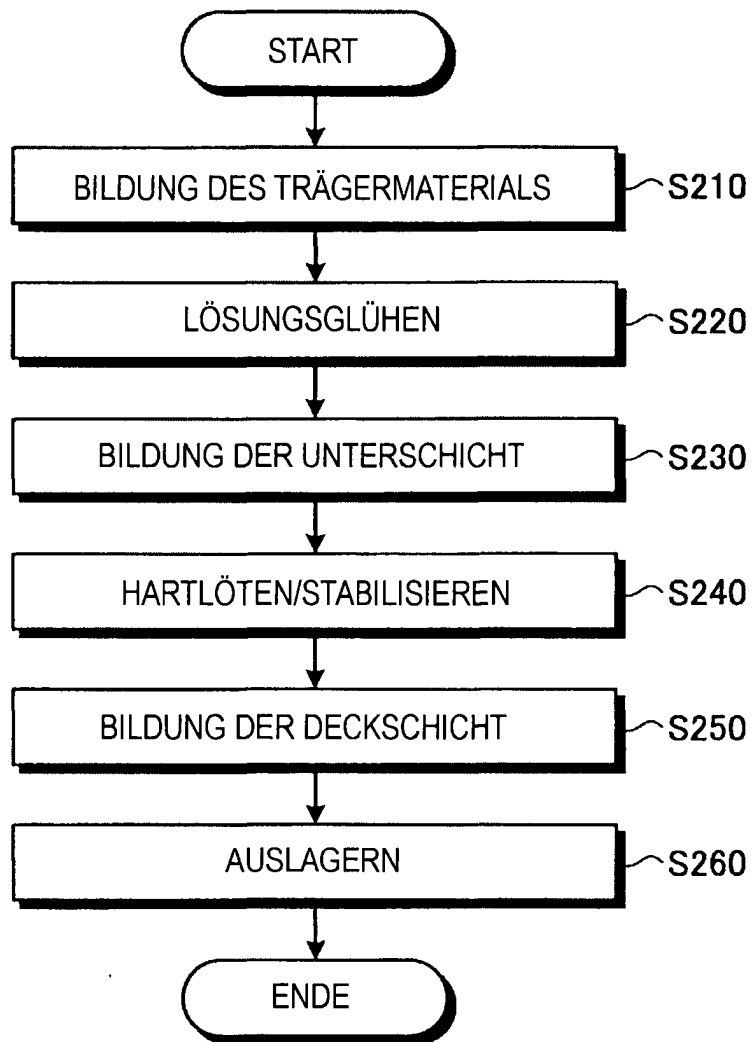


FIG. 5



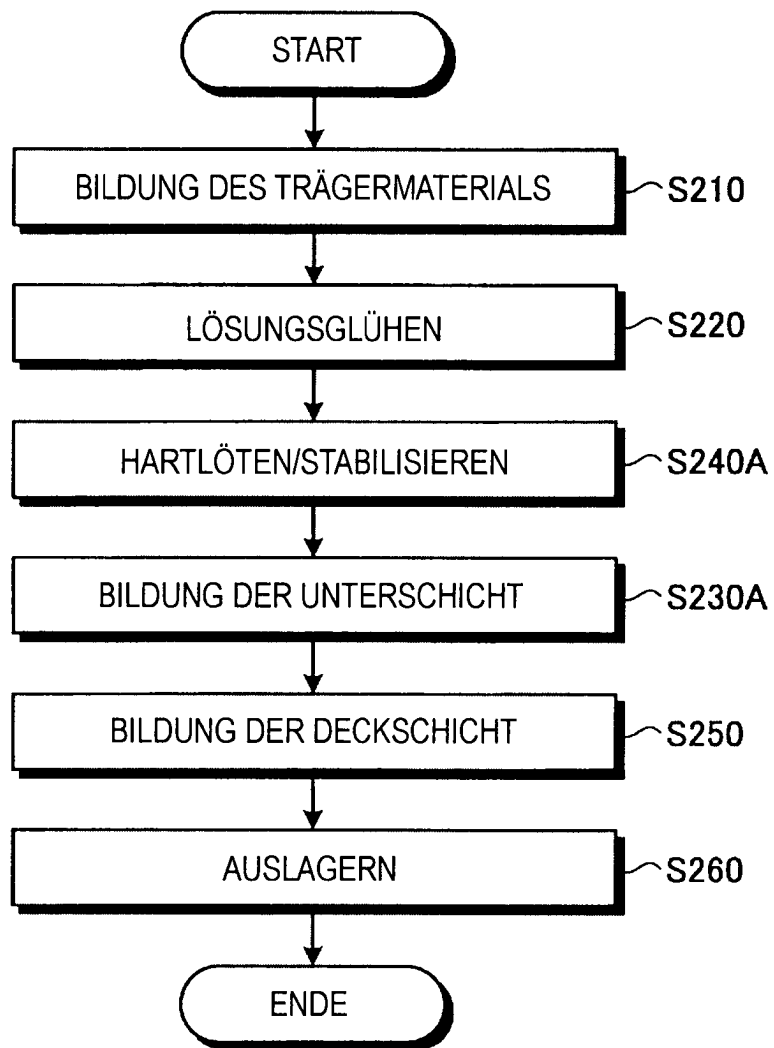


FIG. 6

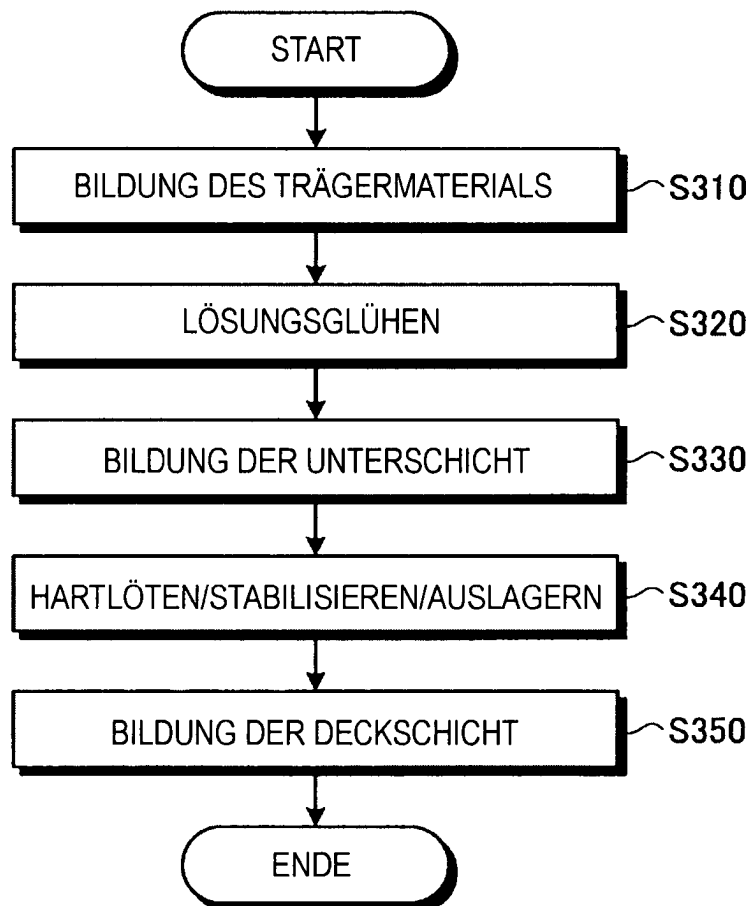


FIG. 7

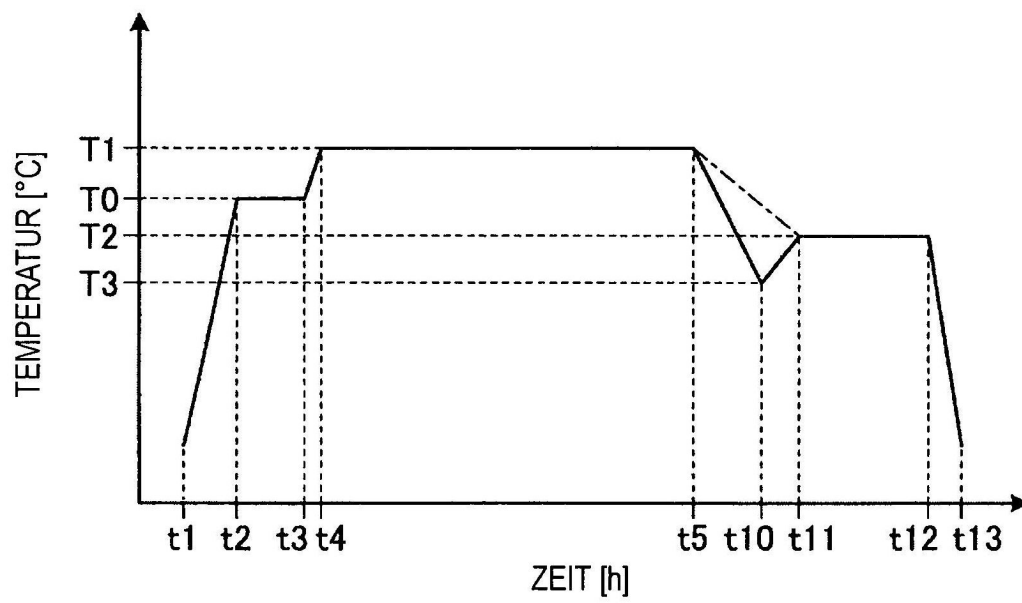


FIG. 8

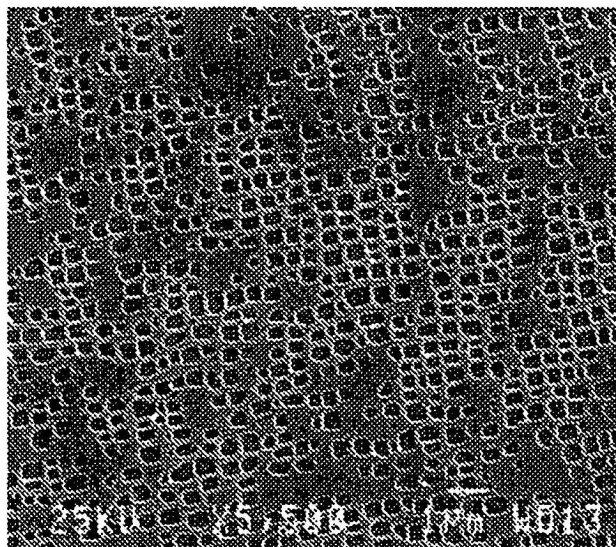


FIG. 9

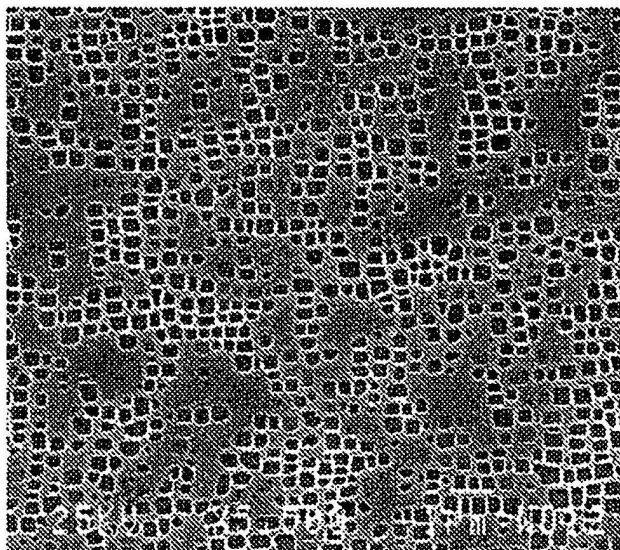


FIG. 10

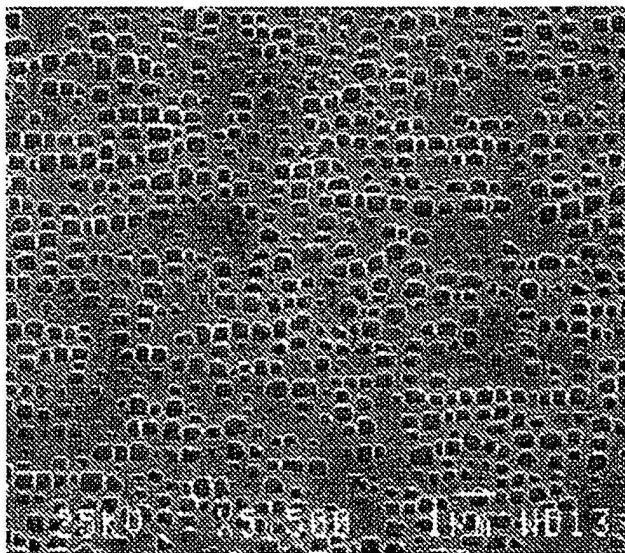


FIG. 11