



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 601 29 769 T2** 2008.04.30

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 179 383 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **601 29 769.5**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 303 314.7**

(96) Europäischer Anmeldetag: **09.04.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **13.02.2002**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **08.08.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **30.04.2008**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **B23K 35/02 (2006.01)**  
**B23K 15/00 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:

**638072 11.08.2000 US**

(73) Patentinhaber:

**General Electric Co., Schenectady, N.Y., US**

(74) Vertreter:

**Rüger und Kollegen, 73728 Esslingen**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,  
LI, LU, MC, NL, PT, SE, TR**

(72) Erfinder:

**Feng, Ganjiang, Clifton Park, New York 12065, US;  
Nowak, Daniel Anthony, Alplaus, New York 12008,  
US; Murphy, John Thomas, Niskayuna, New York  
12309, US**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Elektronenstrahlschweißen mit Zwischenlage**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

## Beschreibung

**[0001]** Diese Erfindung betrifft Elektronenstrahlschweißen und insbesondere einen modifizierten Elektronenstrahlschweißprozess zum Verbinden von Superlegierungsmaterialien.

**[0002]** Superlegierungen auf der Basis von Nickel oder auf der Basis von Kobalt sind Legierungen, die etwa 50 oder mehr Gewichtsprozent Nickel plus Legierungselemente enthalten, die hinzugefügt sind, um die mechanischen und physikalischen Eigenschaften dieser Legierungen zu verbessern. Diese Materialien werden typischerweise in Flugzeug- und Industriegasturbinenkomponenten und anderen Anwendungen eingesetzt, welche gute Festigkeit, Kriechbeständigkeit, Bruchzähigkeit und andere mechanische Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen für längere Zeitdauern erfordern.

**[0003]** Ein Kristall-Superlegierungen auf der Basis von Nickel, wie zum Beispiel Rene N5, welche mehr als 10% hochschmelzende Elemente enthalten, werden im Allgemeinen als nicht schweißbar betrachtet. Jedoch hat die Anwendung eines Schweißprozesses mit geringer Wärmeentwicklung, wie zum Beispiel ein Laser- oder Elektronenstrahl, rissfreie Schweißverbindungen über einen sehr schmalen Bereich von Schweißbedingungen erzeugt. Ein Nachteil dieser Strahlprozesse ist das gerichtete Kornwachstum in der Schmelzzone, welche eine bestimmte dendritische Grenzfläche in der Mitte der Schweißzone ausbildet. Diese Art von Kornstruktur macht die Verbindung für eine Mittellinienrissbildung empfindlich und führt zu einer schlechten Ermüdungsfestigkeit. Beispielsweise endet die Ermüdungslebensdauer von elektronenstrahlgeschweißtem N5 Material bei 649°C (1200°F) und 0,9% Dehnung bei etwa 100 Zyklen, was wesentlich niedriger als die des Basismetalls ist. Schweißereigenschaftswerte in diesem Bereich können zu einem katastrophalen Ausfall der Schweißverbindung während des Betriebs in einer Gasturbine führen.

**[0004]** Alternative Prozesse wurden bereits zum Schweißen des Rene N5 Materials entwickelt, um die Probleme mit der Mittellinienrissbildung zu überwinden. Unter diesen waren ein Elektronenstrahlschweißprozess mit Drahtvorschub und ein Wolfram-Schutzgas-Lichtbogenschweißprozess (TIG) die besten bei der Verbesserung der Ermüdungslebensdauer der Verbindungsstelle. Der Elektronenstrahlschweißprozess mit Drahtvorschub fügt ein duktiles Füllmetall mittels einer automatischen Drahtvorschubeinrichtung während des Elektronenstrahlschweißens hinzu. Aufgrund der erhöhten Duktilität des Schweißmetalls, wurde die Ermüdungslebensdauer der Drahtvorschub-EB-Verbindungsstelle stark verbessert. Es war jedoch ersichtlich, dass dieser Prozess durch die Verbindungsstellendicke begrenzt

war. Der Fehler mangelnder Eindringtiefe trat oft auf, wenn die Verbindungsstellendicken auf 0,76 cm (0,3 Zoll) vergrößert wurden. Der TIG-Schweißprozess verwendete ebenfalls ein duktiler Zusatzmetall. Dieser Mehrfachdurchgangprozess veränderte vollständig die gerichtete Kornstruktur in der Schweißzone und brachte ebenfalls duktiler Zusatzmetall in das Schweißmetall ein. Dieser Lichtbogenschweißprozess mit hoher Wärmeentwicklung bewirkt jedoch relativ große Schaufelblattverformungen und erhöhte das Risiko des Fehlers von Schmelzdefekten in der Schweißnaht. Oft verhinderte das Maß der Verformung den Einsatz des TIG-Prozesses als primären Schweißprozess für komplexe Schaufelblattstrukturen.

**[0005]** US 3 617 685 A offenbart die Verwendung einer Zwischenlage auf der Basis von Eisen, die zwischen Elemente einer mittels Elektronenstrahlschweißung zu schweißenden wärmebeständigen Legierung auf der Basis von Nickel eingefügt ist.

**[0006]** Verschiedene Aspekte und Ausführungsform der Erfindung sind in den beigefügten Ansprüchen definiert.

**[0007]** Eine Ausführungsform der Erfindung wird nun im Rahmen eines Beispiels unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben, in welchen:

**[0008]** [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung eines Elektronenstrahlschweißprozesses der vorliegenden Erfindung ist.

**[0009]** Superlegierungsmaterialien, und insbesondere Superlegierungen auf der Basis von Nickel oder der Basis von Kobalt sind in Gasturbinenkomponenten nützlich, welche gute Festigkeit, Kriechbeständigkeit, Bruchzähigkeit und andere mechanische Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen erfordern. Derartige Materialien werden beispielsweise in Turbinenschaufeln und Leitschaufeln der ersten und zweiten Stufe benötigt, wo die Materialien hohen Temperaturen sowie hohen Zug- und Druckspannungen während des Turbinenbetriebs unterworfen sind.

**[0010]** Die Elektronenstrahlquelle dient zur Erhitzung der zu schweißenden Verbindungsstelle. Wie es für den Fachmann auf dem Gebiet ersichtlich sein dürfte, kann jede bekannte Elektronenstrahlquelle verwendet werden, und die Erfindung soll auf keine spezielle strukturelle Konfiguration beschränkt sein. Ferner ist die Vorrichtung für die Erzeugung des Elektronenstrahls für die Durchführung der Elektronenstrahlschweißung bekannt, und mit Ausnahme der nachstehenden Beschreibungen bezüglich der bevorzugten Betriebsparameter werden die Details der Elektronenstrahlerzeugungsvorrichtung nicht weiter beschrieben.

**[0011]** Gemäß [Fig. 1](#) wird eine Stumpfverbindung oder Verbindungsfuge **10** zwischen aus Superlegierungsmaterialien bestehenden Komponenten **12** mit einer Zwischenlage **14** versehen. Das Verfahren der vorliegenden Erfindung ist für Schweißung beliebiger Superlegierungsmaterialien anwendbar, ist aber insbesondere für Einkristall-Legierungen auf der Basis von Nickel, wie zum Beispiel Rene N5, welche in Gasturbinen und dergleichen eingesetzt wird, geeignet. Die Zwischenlage **14** ist bevorzugt aus einem duktilen Superlegierungsmaterial, wie zum Beispiel IN617, IN625 oder HA230 ausgebildet. Die Dicke der Zwischenlage ist zwischen 1,016 mm (0,04 Zoll) und 2,54 mm (0,100 Zoll) abhängig von einer Abmessung eines Spaltes zwischen den zu schweißenden Materialien variabel. Wie bei dem herkömmlichen Prozess wird eine Unterlage **16** angrenzend an die Verbindungsstelle **10** gelagert, um zu verhindern, dass der Elektronenstrahl nicht gewünschte Flächen beschädigt. Die Unterlage **16** kann ebenfalls aus einem Superlegierungsmaterial hergestellt sein, welches ein getrenntes oder integriertes Stück des zu schweißenden Materials sein kann.

**[0012]** Die Betriebsparameter des Elektronenstrahls sind wie bekannt abhängig von den erwünschten Ergebnissen variabel. In dem vorliegenden Zusammenhang ist es erforderlich, den Elektronenstrahl bei einer Spannung zwischen 100–130 kV und einem Strom zwischen 25–35 mA zu betreiben. Geringere Werte von Spannung und/oder Strom können zu Schmelzdefekten aufgrund einer nur teilweisen Durchdringung führen, und dadurch erheblich die zyklische Ermüdungslebensdauer der Verbindungsstelle verringern. Zu hohe Spannungs- und/oder Stromwerte können zu einem Durchschneiden der Metalle führen. Die Schweißgeschwindigkeit ist etwa 50,8 bis 76,2 cm (etwa 20 bis 30 Zoll) pro Minute und wird gesteuert, um einen Wärmeeintrag aus dem Elektronenstrahl zu variieren. Der Wärmeeintrag ist eine Funktion von Spannung und Strom dividiert durch die Schweißgeschwindigkeit. Somit kann, wenn die Schweißgeschwindigkeit zu niedrig ist, die Verbindungsstelle überhitzt werden, während, wenn die Schweißgeschwindigkeit zu hoch ist, Schmelzdefekte als Folge einer flachen Schweißung vorliegen können. Weitere Schweißparameter wie zum Beispiel Schwingung, Frequenz und Fokus sind weniger als die vorstehend erwähnte Spannung, Strom und Geschwindigkeit relevant. Diese Parameter können jedoch gemäß bekannten Prinzipien modifiziert werden, um Modifikationen in dem Schweißprozess zu erzielen.

**[0013]** Mit dem Schweißprozess der vorliegenden Erfindung kann die Ermüdungslebensdauer einer geschweißten Verbindung um das drei- bis vierfache im Vergleich zu dem Stand der Technik erhöht werden. Der Prozess stellt auch die volle Durchdringung einer Stumpfverbindung bis zu 15,24 cm (6 Zoll) Tiefe mit

einem konsistenten Prozentsatz an Zusatzmaterial in einem einzigen Durchgang sicher. Durch Beseitigung der Notwendigkeit eines Schweißprozesses mit mehreren Durchgängen werden Risiken eines Fehlers von Schmelztypdefekten erheblich reduziert. Der Prozess ermöglicht variable Zwischenlagendicken und Verbindungsstelleneinrichtungsfugen zwischen 1 und 2,5 mm (0,040 und 0,100 Zoll), was eine gesteigerte Flexibilität für die Fertigung bereitstellt, wenn komplexe Schaufelblattstrukturen und dergleichen verbunden werden.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Elektronenstrahlschweißen einer Verbindungsstelle (**10**) zwischen Superlegierungsmaterialien (**12**) zum Herstellen von Schaufelblattstrukturen, wobei das Verfahren das Einfügen einer schweißbaren Zwischenlage (**14**) aus einem Superlegierungsmaterial in die Verbindungsstelle und die Erhitzung der Superlegierungsmaterialien mit einem Elektronenstrahl umfasst, **dadurch gekennzeichnet**, dass:

der Erhitzungsschritt den Betrieb des Elektronenstrahls mit einer Spannung zwischen 100–130 kV und einem Strom zwischen 25–35 mA bei einer Geschwindigkeit von 50,8–76,2 cm (20–30 Zoll) pro Minute umfasst; und

die Zwischenlage (**14**) eine Dicke zwischen 1,016 mm (0,040 Zoll) und 2,54 mm (0,100 Zoll) hat.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Zwischenlage (**14**) durch Schmiede-, Gieß- oder Pulver-metallurgische Prozesse erzeugt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Erhitzungsschritt den Betrieb des Elektronenstrahls entweder mit einer Hoch- oder Niederspannungs-Elektronenstrahl-Schweißmaschine mit einer Spannung umfasst, die hoch genug ist, um die Verbindungsstelle (**10**) zu durchdringen, und der Strom so ist, dass eine vollständige Schmelzung des Basismetalls und der Zwischenlage (**14**) erzielt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Erhitzungsschritt in einem einzigen Durchgang abgeschlossen wird.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

