



(11) **EP 1 990 444 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**12.11.2008 Patentblatt 2008/46**

(51) Int Cl.:  
**C23C 24/04 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **08007714.2**

(22) Anmeldetag: **21.04.2008**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL NO PL PT RO SE SI SK TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**AL BA MK RS**

- **Rikehr, Stefan**  
**21502 Geesthacht (DE)**
- **Vaidya, Waman Vishwanath**  
**21502 Geesthacht (DE)**
- **Gärtner, Frank**  
**22043 Hamburg (DE)**
- **Stoltenhoff, Thorsten**  
**58256 Ennepetal (DE)**
- **Kreye, Frank**  
**22175 Hamburg (DE)**
- **Klassen, Thomas**  
**21465 Wentorf (DE)**

(30) Priorität: **09.05.2007 DE 102007021736**

(71) Anmelder: **GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH**  
**21502 Geesthacht (DE)**

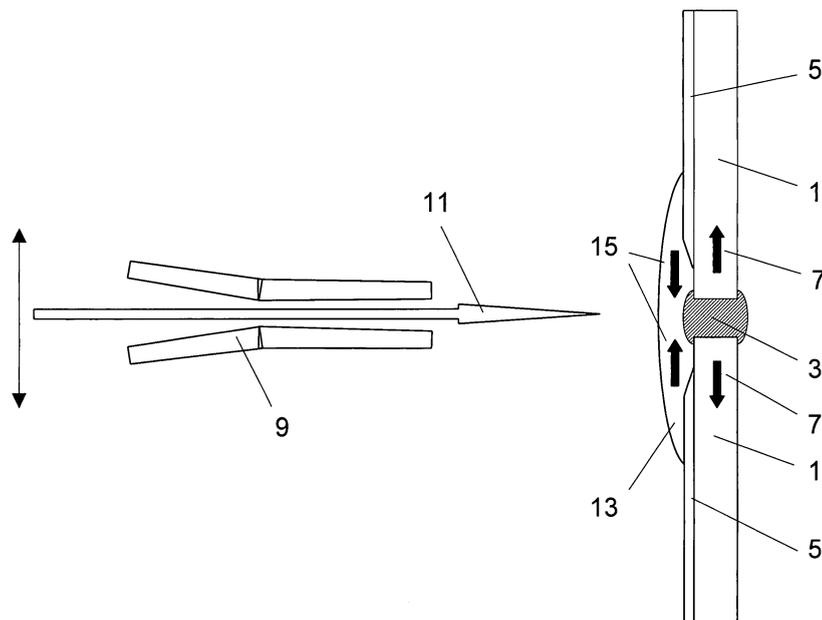
(72) Erfinder:  
• **Kocak, Mustafa**  
**21502 Geesthacht (DE)**

(74) Vertreter: **UEXKÜLL & STOLBERG**  
**Patentanwälte**  
**Beselerstrasse 4**  
**22607 Hamburg (DE)**

(54) **Verfahren zur Nachbehandlung von Schweißverbindungen**

(57) Dargestellt und beschrieben ist ein Verfahren zur Nachbehandlung von Schweißverbindungen. Die Aufgabe, ein Verfahren zur Nachbehandlung einer Schweißnaht bereitzustellen, durch welches die Zugspannungen im Bereich der Schweißnaht vermindert werden, wird dadurch gelöst, dass auf die Schweißnaht an einem Werkstück eine Deckschicht durch Kaltgasspritzen aufgebracht wird.

pannungen im Bereich der Schweißnaht vermindert werden, wird dadurch gelöst, dass auf die Schweißnaht an einem Werkstück eine Deckschicht durch Kaltgasspritzen aufgebracht wird.



**Fig. 1**

**EP 1 990 444 A2**

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Nachbehandlung einer Schweißnaht an einem Werkstück, um die mechanischen Eigenschaften der Schweißnaht zu verbessern.

**[0002]** Insbesondere im Bereich des Flugzeugbaus, wo in sehr großem Umfang Aluminium verwendet wird, gibt es das Bestreben, aus diesem Werkstoff oder seinen Legierungen bestehende Werkstücke statt durch Nieten über Schweißnähte miteinander zu verbinden, da dies mit einer Gewichtersparnis verbunden ist, was gerade in diesem Bereich hochrelevant ist.

**[0003]** Wie bei allen Metallen besteht auch bei Aluminium bei der Herstellung einer Schweißnaht, gleich welches thermische Schweißverfahren gewählt wird, das Problem, dass sich im Bereich der Schweißnaht Zugspannungen im Material der Schweißnaht selbst wie auch im Material der benachbarten Werkstücke ausbilden. Diese Zugspannungen können einerseits dazu führen, dass die Festigkeit des Materials vermindert wird. Andererseits kann es aufgrund der Zugspannungen unter Belastung zu einer Bildung von Rissen im Bereich der Oberfläche kommen, die zum einen die Festigkeit der Schweißnaht weiter beeinträchtigen und zum anderen die Korrosion in diesem Bereich beschleunigen.

**[0004]** Um das Problem der Zugspannungen zu beseitigen, ist es möglich, die geschweißten Werkstücke auszulagern, also eine Temperaturbehandlung durchzuführen. Wenn die Werkstücke jedoch eine bestimmte Größe überschreiten, ist eine solche Behandlung nicht mehr durchführbar. Des Weiteren ergibt sich beim Auslagern das Problem, dass sich die Werkstücke dabei möglicherweise verziehen, was ebenfalls unerwünscht ist. Schließlich scheidet eine thermische Nachbehandlung bei bereits ausgehärteten Materialien aus.

**[0005]** Außerdem erweist es sich als Problem, dass die Aluminium-Werkstücke, die verschweißt werden sollen, häufig aus einer Aluminium-Legierung mit einer Beschichtung aus reinem Aluminium bestehen, wobei die Beschichtung als "Opferanode" dient, um die Aluminium-Legierung des Werkstücks vor Korrosion zu schützen. Im Bereich der Schweißnaht wird diese Beschichtung durch den Schweißprozess zerstört, sodass in diesem Bereich auch die Wirkung der Opferanode verloren geht und die Aluminium-Legierung der Werkstücke hier in verstärktem Maße Korrosionsangriffen ausgesetzt ist. Außerdem wird der Bereich der Schweißnaht durch das Einmischen des Materials der Beschichtung unedler und damit einem erhöhten Korrosionsrisiko ausgesetzt. Es wäre daher weiterhin wünschenswert, wenn nach der Herstellung einer Schweißnaht an derartigen Werkstücken auch im Bereich der Schweißnaht wieder ein Opferanodenmaterial vorhanden wäre.

**[0006]** Daher ist es die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur Nachbehandlung einer Schweißnaht bereitzustellen, durch welches die Zugspannungen im Bereich der Schweißnaht vermindert wer-

den.

**[0007]** Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, dass auf die Schweißnaht an einem Werkstück eine Deckschicht durch Kaltgasspritzen aufgebracht wird.

**[0008]** Dabei kann die Schweißnaht vor dem Aufbringen der Deckschicht durch beliebige, aus dem Stand der Technik bekannte Schweißverfahren gebildet werden, wobei insbesondere Gasschmelzschweißen, Lichtbogenschweißen und Laserschweißen in Frage kommen. Die Schweißnaht kann zum einen den Zweck erfüllen, zwei Bauteile zu einem einzigen Werkstück zu verbinden, oder zum anderen dazu dienen, Öffnungen in einem Werkstück zu schließen.

**[0009]** Beim Kaltgasspritzen wird pulverförmiges Material, aus dem die Deckschicht gebildet wird, innerhalb einer Düse in einen Gasstrahl gegeben, sodass die Partikel auf hohe Geschwindigkeiten, typischerweise auf Geschwindigkeiten oberhalb der Schallgeschwindigkeit, beschleunigt werden und damit eine hohe kinetische Energie erhalten. Wenn die Partikel auf das zu beschichtende Werkstück bzw. die Oberfläche der Schweißnaht auftreffen, bilden sie eine dichte, fest haftende Schicht, da es aufgrund der hohen kinetischen Energie und der daraus resultierenden Wärmefreigabe beim Auftreffen auf das Werkstück zu einer Haftung der Partikel untereinander und auch an dem Werkstück kommt. Im Hinblick auf Details zum Kaltgasspritzen wird im Übrigen auf die DE 101 26 100 A1 verwiesen

**[0010]** Durch den ständigen Aufprall weiterer fester Partikel weisen kaltgasgespritzte Schichten nach dem Aufbringen auf ein Werkstück Druckspannung auf. Außerdem werden bei dem Beschichtungsprozess in das Werkstück selbst Druckspannungen eingebracht.

**[0011]** Dadurch ergibt sich die Möglichkeit, durch das Aufbringen einer kaltgasgespritzten Schicht auf die Oberfläche einer zuvor gebildeten Schweißnaht die Zugspannungen darin zu kompensieren und damit die Festigkeit zu erhöhen. Auf diese Weise wird außerdem die Neigung zur Rissbildung stark zu vermindert, sodass auf diese Weise die Korrosionsbeständigkeit der Schweißnaht verbessert wird.

**[0012]** Wenn die Größe der beim Kaltgasspritzen verwendeten Partikel zwischen 10 und 60  $\mu\text{m}$  und vorzugsweise zwischen 20 und 45  $\mu\text{m}$  liegt, hat es sich gezeigt, dass sich gute Ergebnisse hinsichtlich der Reduzierung der Zugspannungen in der Schweißnaht und dem Werkstück erzielen lassen.

**[0013]** Auch wenn die vorliegende Erfindung nicht darauf beschränkt ist, so hat sich das erfindungsgemäße Verfahren als besonders vorteilhaft in Hinblick auf Werkstücke herausgestellt, deren Material Aluminium oder Aluminium-Legierungen umfasst. Es ist aber auch möglich, dass das erfindungsgemäße Verfahren bei Werkstücken aus Titan oder Titan-Legierungen angewandt wird. Darüber hinaus kann das erfindungsgemäße Verfahren bei Werkstücken aus Stahl angewandt werden, wobei insbesondere dann, wenn verzinkte Stahl-Werk-

stücke nachbehandelt werden, es möglich ist, im Bereich der Schweißnaht die ursprünglich guten Korrosionseigenschaften wiederherzustellen. Weiterhin kann das Verfahren auch bei Kupfer und Kupferlegierungen angewandt werden.

**[0014]** Um die Korrosionsbeständigkeit der Schweißnaht weiter zu verbessern, hat es sich als vorteilhaft erwiesen, wenn sich das Material der Deckschicht anodisch zum Material der Schweißnaht verhält. In diesem Fall wirkt die Deckschicht nicht nur den Zugspannungen entgegen, sondern dient gleichzeitig als Opferanode in Bezug auf die Schweißnaht, sodass das Material der Schweißnaht keinen Angriffen durch Korrosion ausgesetzt ist.

**[0015]** In weiter bevorzugter Weise kann das Material der Deckschicht ferner so gewählt sein, dass es sich auch anodisch zu dem Material des Werkstücks verhält und damit auch diesem gegenüber als Opferanode wirkt. Bei einer derartigen Wahl des Materials der Deckschicht können insbesondere die Eigenschaften wiederhergestellt werden, die, sofern das Werkstück mit einer als Opferanode ausgebildeten Beschichtung versehen ist, vor der Bildung der Schweißnaht vorlagen.

**[0016]** Insbesondere können die Materialien in der Weise gewählt werden, dass das Material der Werkstücke eine Aluminium-Legierung aufweist und die Deckschicht aus Aluminium besteht, wobei die Werkstücke in weiter bevorzugter Weise auch eine Beschichtung aus Aluminium aufweisen.

**[0017]** Im Folgenden wird die Erfindung anhand einer Zeichnung beschrieben, die lediglich ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel darstellt. In der Zeichnung zeigt

Fig. 1 schematisch den Aufbau einer Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

**[0018]** In Fig. 1 ist ein Werkstück 1 mit einer Schweißnaht 3 gezeigt, wobei die Schweißnaht 3 durch bekannte Schweißverfahren gebildet sein kann, beispielsweise Gasschmelzschweißen, Lichtbogenschweißen und Laserschweißen. Bei dem Material des Werkstücks 1 handelt es sich in dem hier beschriebenen bevorzugten Ausführungsbeispiel um eine Aluminium-Legierung, wobei auf dem Werkstück 1 noch eine Beschichtung 5 aus reinem Aluminium vorhanden ist, die als Opferanode dient und im Bereich der Schweißnaht 3 aufgrund des Schweißprozesses unterbrochen ist. Die Dicke des Werkstücks 1 kann in dem hier beschriebenen Beispiel zwischen 0,5 und 10 mm liegen, und die Beschichtung 5 kann mehrlagig ausgebildet sein. Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren ist es aber auch denkbar, dass Werkstücke aus Kupfer oder aus Titan sowie Titan- oder Kupfer-Legierungen verwendet werden. Es ist aber auch möglich Werkstücke aus Stahl zu verwenden, wobei insbesondere dann, wenn verzinkte Stahl-Werkstücke nachbehandelt werden, es möglich ist, im Bereich der Schweißnaht die ursprünglich guten Korrosionseigen-

schaften wiederherzustellen.

**[0019]** Das Material der Schweißnaht 3 ist aufgrund des Schweißprozesses aus dem Material des Werkstücks 1 selbst und dem der Beschichtung 5 gebildet und damit unedler als das WerkstückMaterial. Dadurch ist die Schweißnaht 3 zunächst korrosionsanfälliger als das übrige Werkstück 1. Des weiteren steht die Schweißnaht 3 und der zu ihr benachbarte Bereich des Werkstücks 1 vor der Beschichtung unter Zugspannungen, sodass die Festigkeit und auch die Korrosionsbeständigkeit, wie eingangs erläutert, hier vermindert sind (siehe Pfeile 7).

**[0020]** Zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird das Werkstück 1 in einem Abstand zwischen 10 und 60 mm vor einer Kaltgasspritzdüse 9 angeordnet, die hier nur schematisch dargestellt ist.

**[0021]** In der Kaltgasspritzdüse 9 werden Partikel mit einer Größe zwischen 10 und 60  $\mu\text{m}$  und vorzugsweise zwischen 20 und 45  $\mu\text{m}$  in einem Gasstrom 11 typischerweise auf Geschwindigkeiten oberhalb der Schallgeschwindigkeit beschleunigt. Bei dem Material der Partikel handelt es sich im vorliegenden Ausführungsbeispiel um Aluminium, und als Prozessgas wird Stickstoff verwendet, wobei das Prozessgas vorgeheizt werden kann und einen Druck zwischen 5 bis 60 bar und bevorzugt zwischen 20 bis 40 bar hat.

**[0022]** Die Partikel in dem Gasstrom 9 treffen in dem Bereich der Schweißnaht 3 auf das Werkstück 1 und bilden über der Schweißnaht 3 eine Deckschicht 13. Dabei hat der Gasstrom 9 einen typischen Durchmesser von 2 bis 10 mm, sodass bevorzugt mehrfach in Zeilen über den Bereich der Schweißnaht 3 gefahren wird, um die Deckschicht 13 aus reinem Aluminium mit einer Dicke von 0,05 bis 10 mm auf den Bereich der Schweißnaht 3 aufzubringen.

**[0023]** Das erfindungsgemäße Aufbringen der Deckschicht 13 auf die Schweißnaht 5 mittels Kaltgasspritzens führt dazu, dass es aufgrund der hohen kinetischen Energie der Partikel und der daraus resultierenden Wärmefreigabe beim Auftreffen auf das Werkstück 1 zu einer Haftung der Partikel untereinander in der Deckschicht 13 und an dem Werkstück 1 kommt. Außerdem werden am Anfang des Beschichtungsprozesses in das Werkstück 1 selbst Druckspannungen eingebracht, durch die die nach dem Schweißen vorhandenen Zugspannungen 7 kompensiert werden. Danach werden u.a. durch den ständigen Aufprall weiterer fester Partikel in der Deckschicht 13 Druckspannungen (Pfeil 15) aufgebaut.

**[0024]** Dadurch ergibt sich die Möglichkeit, durch das Aufbringen einer kaltgasgespritzten Deckschicht 13 auf die Oberfläche einer zuvor gebildeten Schweißnaht 3 die Zugspannungen 7 darin zu kompensieren und damit die Festigkeit zu erhöhen. Auf diese Weise wird außerdem die Neigung zur Rissbildung stark zu vermindert, sodass auf diese Weise auch die Korrosionsbeständigkeit der Schweißnaht 3 verbessert wird.

**[0025]** Da die Deckschicht 13 in dem hier beschriebenen bevorzugten Ausführungsbeispiel aus reinem Alu-

minium besteht, verhält sich die Deckschicht 13 anodisch sowohl zu den Werkstücken 1 als auch zu der Schweißnaht 3, sodass auch auf diesem Wege die Korrosionsbeständigkeit des geschweißten Werkstücks verbessert wird.

5

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Nachbehandlung einer Schweißnaht (3) an einem Werkstück (1) umfassend die Schritte:
  - Bereitstellen des Werkstücks (1) mit der Schweißnaht (3) und
  - Aufbringen einer Deckschicht (13) auf die Oberfläche der Schweißnaht (3) durch Kaltgas-spritzen.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Größe der beim Kaltgasspritzen verwendeten Partikel zwischen 10 und 60  $\mu\text{m}$  und vorzugsweise zwischen 20 und 45  $\mu\text{m}$  liegt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Material des Werkstücks (1) Aluminium oder Aluminium-Legierungen umfasst.
4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Material des Werkstücks (1) Titan oder Titan-Legierungen umfasst.
5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Material des Werkstücks (1) Stahl umfasst.
6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei das Werkstück (1) mit einer Zink aufweisenden Beschichtung versehen ist.
7. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Material des Werkstücks (1) Kupfer oder Kupferlegierungen umfasst.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis REF 7, wobei sich das Material der Deckschicht (13) anodisch zum Material der Schweißnaht (3) verhält.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei sich das Material der Deckschicht (13) anodisch zu dem Material des Werkstücks (1) verhält.
10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, wobei das Material der Werkstücks (1) eine Aluminium-Legierung aufweist und die Deckschicht (13) aus Aluminium besteht.
11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei die Werkstücke (1) eine Beschichtung (5) aus Aluminium aufweisen.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

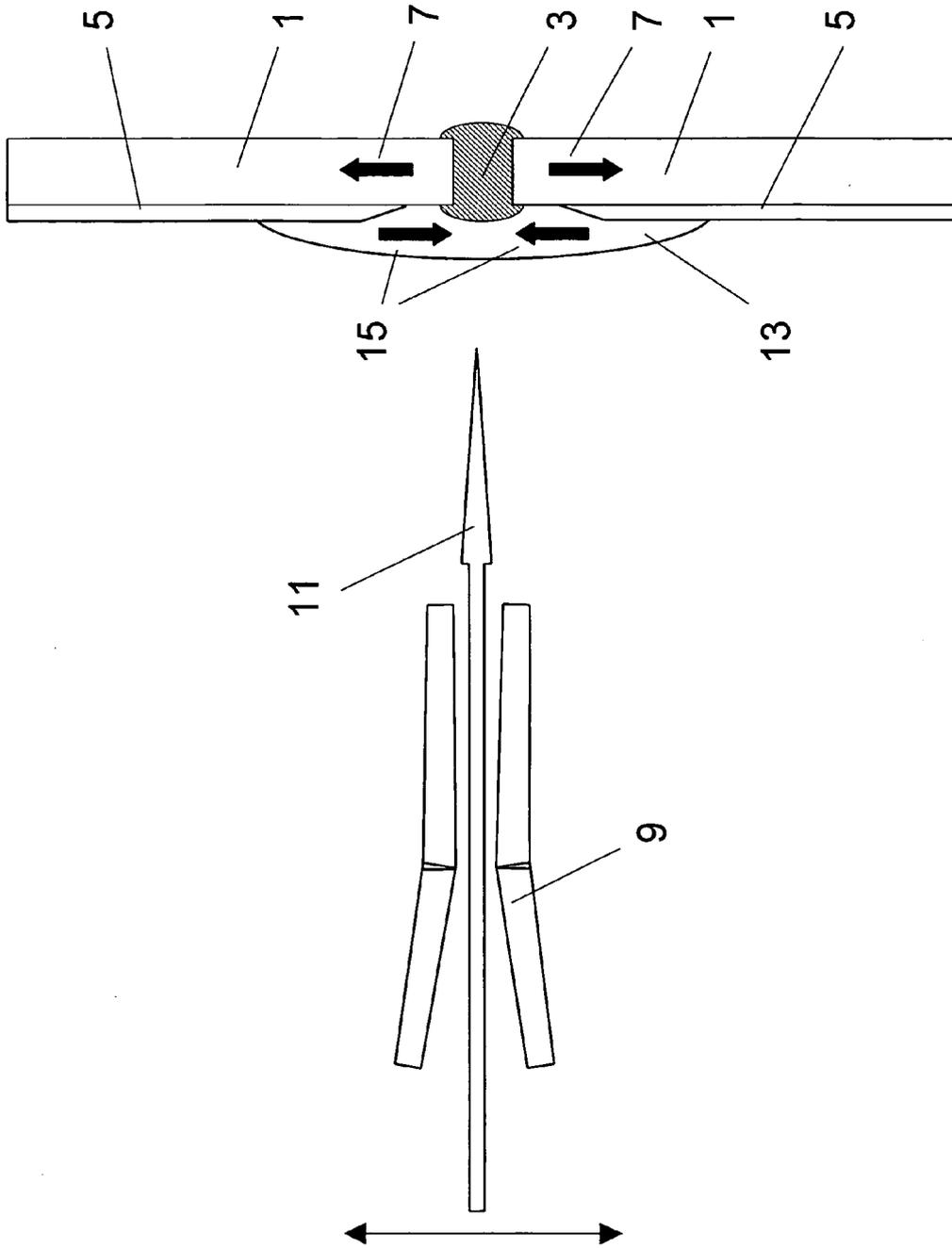


Fig. 1

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- DE 10126100 A1 [0009]