

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

**EP 0 648 283 B1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

**09.10.1996 Patentblatt 1996/41**

(51) Int Cl.<sup>6</sup>: **C23C 10/48, C23C 10/02**

(86) Internationale Anmeldenummer:

**PCT/EP93/01765**

(21) Anmeldenummer: **93915829.1**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:

**WO 94/01594 (20.01.1994 Gazette 1994/03)**

(22) Anmeldetag: **07.07.1993**

### (54) **BAUTEIL AUS INTERMETALLISCHER VERBINDUNG MIT ALUMINIUMDIFFUSIONSBSCHICHTUNG**

INTERMETALLIC COMPOUND COMPONENT WITH DIFFUSED ALUMINIUM COATING

ELEMENT EN COMPOSE INTERMETALLIQUE AVEC REVETEMENT D'ALUMINIUM PAR DIFFUSION

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**CH FR GB LI NL**

• **PILLHÖFER, Horst**

**D-85244 Röhrmoos (DE)**

• **BRUNGS, Frank**

**D-85221 Dachau (DE)**

(30) Priorität: **07.07.1992 DE 4222211**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:

**19.04.1995 Patentblatt 1995/16**

(74) Vertreter: **Baum, Wolfgang, Dipl.-Ing.**

**MTU MOTOREN- UND**

**TURBINEN-UNION MÜNCHEN GMBH**

**Postfach 50 06 40**

**80976 München (DE)**

(73) Patentinhaber: **MTU MOTOREN- UND TURBINEN-UNION MÜNCHEN GMBH**  
**D-80976 München (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:

**DE-C- 3 742 721**

(72) Erfinder:

• **GRUNKE, Richard**

**D-81373 München (DE)**

• **PEICHL, Lothar, Dr.**

**D-85221 Dachau (DE)**

• **WALTER, Heinrich**

**D-86136 Friedberg (DE)**

• **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN, Band 016, Nr. 043 (C-0907), 04. Februar 1992**

• **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN, Band 015, Nr. 456 (C-0886), 20. November 1991**

**EP 0 648 283 B1**

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).

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Bauteil aus einer intermetallischen Verbindung aus Titan und Aluminium oder aus Legierungen solcher intermetallischen Verbindungen mit Legierungszusätzen als Grundwerkstoff und mit Aluminiumdiffusionsbeschichtung des Grundwerkstoffs.

Dieser Grundwerkstoff hat für den Triebwerksbau interessante Eigenschaften. Er weist vergleichbare mechanische Eigenschaften wie konventionelle Titanlegierungen bei geringem spezifischem Gewicht auf, ist aber bei bedeutend höheren Betriebstemperaturen einsetzbar. Die Duktilität bei Raumtemperatur dieses Grundwerkstoffes ist jedoch geringer und muß durch Legierungselemente und Wärmebehandlungsverfahren, wie sie aus DE 30 24 645 bekannt sind, verbessert werden.

Während bei konventionellen Titanlegierungen eine Sauerstoffversprödung in oxidierender Atmosphäre bereits bei Temperaturen ab 550 °C einsetzt, liegt diese Temperatur bei intermetallischen Verbindungen aus Titan und Aluminium bei 700 °C. Die Sauerstoffversprödung hat nachteilig zur Folge, daß die geringe Duktilität bei Raumtemperatur weiter verschlechtert wird und zu einer Sprödigkeit führt, wie sie von keramischen Bauteilen bekannt ist.

Um diesen Grundwerkstoff für Bauteile einzusetzen, die Betriebstemperaturen von 700 °C ausgesetzt sind, wie sie bei Bauteilen vorzugsweise im Kompressor und Turbinenbereich von Triebwerken auftreten, ist eine geschlossene und defektfreie Aluminiumdiffusionsbeschichtung auf den hochtemperaturbelasteten Bauteiloberflächen erforderlich.

Bei Anwendung herkömmlicher Aluminiumdiffusionsbeschichtungen auf Bauteilen aus dem Grundwerkstoff wird keine geschlossene Aluminiumdiffusionsbeschichtung erreicht. Es treten nachteilig Beschichtungsdefekte mit Bereichen äußerst ungleichmäßiger Beschichtungsdicken bis zu grabenförmigen Beschichtungsstrukturen, die im Grabengrund keine Beschichtung aufweisen, auf. Bei extrem dicker Beschichtung können diese Gräben und Defekte mit Aluminium überdeckt werden. Bei Belastung des Bauteils brechen aber nachteilig diese Bereiche auf und die Aluminiumbedeckung platzt ab.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein gattungsgemäßes Bauteil und ein Verfahren zu seiner Herstellung anzugeben, bei dem keine Beschichtungsdefekte auftreten und welches bei Betriebstemperaturen von 700°C einsetzbar ist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß das Bauteil zwischen Grundwerkstoff und Aluminiumdiffusionsbeschichtung eine oberflächennahe geschlossene Zone mit Rekristallisationsgefüge aufweist.

Wie in umfangreichen Entwicklungsarbeit festgestellt wurde, wächst eine geschlossene Aluminiumdiffusionsbeschichtung ungestört und gleichmäßig nur auf einem derartigen Rekristallisationsgefüge einer inter-

metallischen Verbindung als Grundwerkstoff aus Titan und Aluminium oder aus Legierungen solcher intermetallischen Verbindungen mit oder ohne Legierungszusätze. Die Vorteile dieser Erfindung bestehen darin, daß der Einsatzbereich derartiger Grundwerkstoffe wesentlich erweitert wird und konventionelle für die Massenfertigung geeignete Technologien und Verfahren einsetzbar werden, um derartige Bauteile herzustellen.

Bei einer bevorzugten Ausbildung der Erfindung ist die intermetallische Verbindung TiAl. Bei diesem Grundwerkstoff konnte festgestellt werden, daß Kristallite mit hoher Stapelfehlerdichte in Form von kristallographischen Zwillingsebenen im Kristallit auftreten. Diese Kristallite zeigen eine Plattenstruktur, wie sie bei konventionellen Titanlegierungen bisher nicht beobachtet wurden. Beim konventionellen Aluminiumdiffusionsbeschichten blieben die Zwillingsebenen unbeschichtet. Erst nach Bildung einer oberflächennahen Zone mit Rekristallisationsgefüge wurden Bauteile aus dem Grundwerkstoff mit einer geschlossenen Aluminiumdiffusionsbeschichtung darstellbar.

Eine besonders hohe Dichte an kristallinen Plattenstrukturen zeigen Grundwerkstoffe aus Legierungen aus den intermetallischen Verbindungen mit einem TiAl-Anteil zwischen 50 und 95 Vol.% und mit einem Ti<sub>3</sub>Al-Anteil zwischen 5 und 50 Vol.%. Bei Bauteilen aus diesen kritischen Grundwerkstoffen, die einen höheren Anteil an Titan als TiAl aufweisen und deshalb stärker zur Sauerstoffversprödung neigen, konnten mittels der erfindungsgemäßen oberflächennahen geschlossenen Zone aus Rekristallisationsgefüge vorteilhaft gleichmäßig dicke Aluminiumdiffusionsbeschichtungen realisiert werden.

Zur Duktilitätsverbesserung der Bauteile aus intermetallischen Verbindungen sind vorzugsweise bis zu 4 % Legierungszusätze aus Niob, Molybdän, Tantal, Wolfram oder Vanadium oder aus Mischungen derselben im Bauteilwerkstoff enthalten.

Die Tiefe der oberflächennahen geschlossenen Zone mit Rekristallisationsgefüge beträgt mindestens 0,1 µm. Eine Rekristallisationsgefügetiefe zwischen 1 und 10 µm hat sich als praktikabel erwiesen, da sie sich kostengünstig vorzugsweise durch oberflächennahe Kaltverformung vorbereiten läßt. Rekristallisationsgefügetiefen zwischen 0,1 und 1 µm werden vorzugsweise durch oberflächennahes Laserschmelzen und Rekristallisieren realisiert. Bei Rekristallisationsgefügetiefen über 100 µm wächst die Gefahr, daß sich großvolumige Kristallite mit Plattenstruktur bei der Rekristallisation bilden und eine geschlossene Aluminiumdiffusionsbeschichtung behindern.

Die Aufgaben ein Verfahren zur Herstellung der gattungsgemäßen Bauteile anzugeben wird durch die folgenden Verfahrensschritte gelöst. Das Bauteil wird in einer oberflächennahen Zone kaltverformt oder angeschmolzen und danach bei Rekristallisationstemperatur geglüht und abschließend wird eine Aluminiumdiffusionsbeschichtung auf die rekristallisierte Zone aufge-

bracht. Dieses Verfahren hat den Vorteil, daß kostengünstige für die Massenfertigung geeignete Verfahrensschritte vorgesehen sind, so daß preiswert verbesserte Bauteile im Triebwerksbau einsetzbar werden.

Zur oberflächigen Kaltverformung wird vorzugsweise ein Kugelstrahlen oder eine mechanische Bearbeitung der zu rekristallisierenden Oberflächenbereiche des Bauteils durchgeführt. Beim Kugelstrahlen wird das Bauteil mit Keramikugeln aus  $Al_2O_3$ , Glaskugeln oder Stahlkugeln oberflächlich bestrahlt. Die kristalline Struktur des Grundwerkstoffs wird dabei gestört und Eigenspannungen in die Oberfläche des Grundwerkstoffs eingebracht. Beim anschließenden Rekristallisationsglühen unterhalb der Schmelztemperatur des Werkstoffs bildet sich ein feinkristallines Rekristallisationsgefüge aus, auf dem eine Aluminiumdiffusionsschicht ungestört wachsen kann. Für Oberflächenbereiche, die nicht beschichtet werden sollen, müssen beim Kugelstrahlen Schutzmaßnahmen durch Abdeckungen oder Blenden getroffen werden.

Zum mechanischen Bearbeiten und oberflächennahen Kaltverformen können Druckrollen, Pressen, Walzen Schlag- oder Druckschleifwerkzeuge eingesetzt werden.

Das Rekristallisationsgefüge kann vorzugsweise auch dadurch gebildet werden, daß die Oberfläche des Bauteils in den Bereichen, die abschließend mit Aluminium beschichtet werden sollen, zunächst mit einem Laserstrahl abgerastert und dabei angeschmolzen wird. Das hat den Vorteil, daß besonders geringe Tiefen des Rekristallisationsgefüges zwischen 0,1 und 1  $\mu m$  realisiert werden können und die Oberflächenbereiche geometrisch exakt ohne zusätzliche Schutzmaßnahmen abgerastert, geschmolzen und rekristallisiert werden können.

Bei einer bevorzugten Durchführung des Verfahrens wird mittels eines Wärmezyklus ein Rekristallisieren und ein Aluminiumdiffusionsbeschichten durchgeführt, indem zunächst das oberflächlich kaltverformte oder oberflächlich angeschmolzene und erstarrte Bauteil auf die Rekristallisationstemperatur in einer Anlage zur Aluminiumdiffusionsbeschichtung aufgeheizt wird und nach erfolgter Rekristallisation die Temperatur zur Aluminiumdiffusionsbeschichtung eingestellt und gleichzeitig aluminiumhaltiges Sendergas zugeführt wird.

Diese Durchführung des Verfahrens nutzt die technischen Gegebenheiten einer Anlage zur Aluminiumdiffusionsbeschichtung voll aus, da in derartigen Anlagen das Bauteil unabhängig vom Beschichtungsprozess beheizbar ist. Ferner wird die Kontaminationsgefahr vermindert, da ein Aus- oder Umbau zwischen Rekristallisationsglühen und Beschichten eingespart wird, was gleichzeitig auch die Verfahrenskosten mindert.

Vorzugsweise wird das Bauteil während der Rekristallisation einem verminderten Druck oder einer Schutzgasatmosphäre ausgesetzt, so daß der Wärmezyklus bis zum Zuführen des aluminiumhaltigen Spendergases unter Schutzgas oder vermindertem Druck er-

folgt. Das hat den Vorteil, daß die Bauteiloberfläche vor Fremdstoffen und vor Oxidationsvorgängen geschützt bleibt.

Das Pulverpackverfahren ist für die Aluminiumdiffusionsbeschichtung von Bauelementen aus Eisen-, Nickel- oder Kobaltbasislegierung bekannt. Ferner werden zur Erzeugung von Aluminiumspendern die unterschiedlichsten Aluminiumdonatoren eingesetzt. Als bevorzugtes Verfahren für die Aluminiumdiffusionsbeschichtung wird das Pulverpackverfahren eingesetzt und zur Erzeugung eines Spendergases ein Aluminiumdonator der ternären Legierung Ti/Al/C verwendet. Dabei bewirkt der Kohlenstoffanteil, daß die im Pulverpack verbliebenen Restsauerstoffkonzentrationen durch Kohlenmonoxid- und Kohlendioxidbildungen abgebunden bzw. neutralisiert werden, während Ti und Al dem Grundwerkstoff entsprechen und deshalb den Wachstumsprozess einer Aluminiumdiffusionsbeschichtung auf dem Grundwerkstoff fördern.

Die Fig. zeigen Durchführungsbeispiele für ein Aluminiumdiffusionsbeschichten von Bauteilen aus intermetallischen Verbindungen aus Titan und Aluminium.

Fig. 1 zeigt eine Aluminiumdiffusionsbeschichtung von Bauteilen aus intermetallischen Verbindungen aus Titan und Aluminium ohne oberflächennahe Zone mit Rekristallisationsgefüge.

Fig. 2 zeigt das Photo eines metallurgischen Schliffbildes durch ein Material nach Fig. 1 im Bereich des Ausschnittes A.

Fig. 3 zeigt eine Aluminiumdiffusionsbeschichtung von Bauteilen aus intermetallischen Verbindungen aus Titan und Aluminium mit oberflächennaher Zone mit Rekristallisationsgefüge.

Fig. 4 zeigt das Photo eines metallurgischen Schliffbildes durch ein Material nach Fig. 3 im Bereich des Ausschnittes B.

Fig. 1 zeigt eine Aluminiumdiffusionsbeschichtung 1 von Bauteilen aus intermetallischen Verbindungen aus Titan und Aluminium ohne oberflächennahe Zone mit Rekristallisationsgefüge, wobei der Grundwerkstoff 2 in großvolumigen Kristalliten 3 bis 8 erstarrt ist. Einer der Kristallite 3 zeigt eine ausgeprägte Plattenstruktur mit Stapelfehlern in Form von Zwillingssebenen 9. an den Durchstoßlinien 10 dieser Fehlstellen entlang der Oberfläche weist die Aluminiumdiffusionsbeschichtung grabenförmige Fehler auf. Eine fehlerfreie Beschichtung wird nur auf den Kristalliten 4, 5 und 8 festgestellt, die keine Plattenstruktur aufweisen. Der skizzierte Ausschnitt A wurde mit einem metallographischen Schliff untersucht. Das Ergebnis zeigt Fig. 2.

Fig. 2 zeigt das Photo eines metallurgischen Schliffbildes durch ein Material nach Fig. 1 im Bereich des

Ausschnitts A. Dazu wurde eine Laufschaufel eines Triebwerks aus TiAl in einer Pulverpackanlage mit der ternären Legierung aus Ti/Al/C als Aluminiumdonator an ihrer Schaufelblattoberfläche beschichtet. Die Aluminiumdiffusionsbeschichtung 1 zeigt im Bereich des Kristalliten 3 mit ausgeprägter Plattenstruktur erhebliche Defekte.

Fig. 3 zeigt eine Aluminiumdiffusionsbeschichtung 1 von Bauteilen aus intermetallischen Verbindungen aus Titan und Aluminium mit oberflächennaher Zone 11 mit Rekristallisationsgefüge. Der Grundwerkstoff 2 zeigt großvolumige Kristallite 12 bis 14 mit 12 und ohne Plattenstruktur 13 bis 15. In Oberflächennähe weist der Grundwerkstoff 2 eine geschlossene Zone 11 mit Rekristallisationsgefüge auf, die von einer geschlossenen Schicht aus Aluminium gleichmäßig ohne Fehlstellen bedeckt ist. Der skizzierte Ausschnitt B wurde mit einem metallographischen Schliff untersucht.

Fig. 4 zeigt das Photo eines metallurgischen Schliffbildes durch ein Material nach Fig. 3 im Bereich des Ausschnitts B. Dazu wurde eine Leitschaufel eines Triebwerks aus 60 Vol.% TiAl und 40 Vol.% Ti<sub>3</sub>Al zunächst oberflächlich bis zu einer Tiefe von 5 µm mittels Kugelstrahlen kaltverformt und anschließend in einer Aluminiumpulverpackanlage rekristallisationsgeglüht und schließlich mit einer 5 µm dicken Aluminiumdiffusionsbeschichtung 1 versehen. Wie das metallurgische Schliffbild zeigt, ist eine vollkommen gleichmäßige Aluminiumbeschichtung 1 selbst über dem Kristallit 12 mit ursprünglich äußerst ausgeprägter Plattenstruktur beim Aluminiumdiffusionsprozess in der Aluminiumpulverpackanlage auf dem Grundwerkstoff 2 gewachsen.

#### Patentansprüche

1. Bauteil aus einer intermetallischen Verbindung aus Titan und Aluminium oder aus Legierungen solcher intermetallischen Verbindungen mit Legierungszusätzen als Grundwerkstoff und mit Aluminiumdiffusionsbeschichtung des Grundwerkstoffs, dadurch gekennzeichnet, daß das Bauteil zwischen Grundwerkstoff und Aluminiumdiffusionsbeschichtung eine oberflächennahe geschlossene Zone mit Rekristallisationsgefüge aufweist.
2. Bauteil nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die intermetallische Verbindung TiAl ist.
3. Bauteil nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die intermetallische Verbindung eine Legierung von 50 bis 95 Vol.% TiAl mit 5 bis 50 Vol.% Ti<sub>3</sub>Al ist.
4. Bauteil nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die intermetallische Verbindung bis zu 4 Atom % Legierungszusätze enthält.

5. Bauteil nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Legierungszusätze aus Niob, Molybdän, Tantal, Wolfram oder Vanadium oder aus Mischungen derselben bestehen.
6. Bauteil nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Tiefe der Zone mindestens 0,1 µm beträgt.
7. Verfahren zur Herstellung eines Bauteils nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Bauteil in einer oberflächennahen Zone kaltverformt oder angeschmolzen wird und danach bei Rekristallisationstemperatur geglüht wird und abschließend eine Aluminiumdiffusionsbeschichtung auf die rekristallisierte Zone aufgebracht wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß zur oberflächigen Kaltverformung ein Kugelstrahlen oder eine mechanische Bearbeitung der zu rekristallisierenden Oberflächenbereiche des Bauteils durchgeführt wird.
9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß mittels eines Wärmezyklus ein Rekristallisieren und ein Aluminiumdiffusionsbeschichten durchgeführt wird, indem zunächst das oberflächlich kaltverformte Bauteil auf die Rekristallisationstemperatur in einer Anlage zur Aluminiumdiffusionsbeschichtung aufgeheizt wird und nach erfolgter Rekristallisation die Temperatur zur Aluminiumdiffusionsbeschichtung eingestellt und gleichzeitig aluminiumhaltiges Spendergas zugeführt wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Wärmezyklus bis zum Zuführen des aluminiumhaltigen Spendergases unter Schutzgas oder vermindertem Druck erfolgt.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Aluminiumdiffusionsbeschichtung mittels Pulverpackverfahren erfolgt und zur Erzeugung eines Spendergases ein Aluminiumdonator der ternären Legierung Ti/Al/C eingesetzt wird.

#### Claims

1. A component comprising an intermetallic compound of titanium and aluminium or alloys of such intermetallic compounds with alloying additives as a base material and with aluminium diffusion coating of the base material, characterised in that the component has a closed zone with a recrystallisa-

tion structure near the surface between the base material and the diffused aluminium coating.

2. A component according to claim 1, characterised in that the intermetallic compound is TiAl. 5
3. A component according to claim 1 or 2, characterised in that the intermetallic compound is an alloy of 50 to 95 vol.% TiAl and 5 to 50 vol.% Ti<sub>3</sub>Al. 10
4. A component according to any one of claims 1 to 3, characterised in that the intermetallic compound contains up to 4 atom % alloying additives. 15
5. A component according to any one of claims 1 to 4, characterised in that the alloying additives comprise niobium, molybdenum, tantalum, tungsten or vanadium or mixtures of the same. 20
6. A component according to any one of claims 1 to 5, characterised in that the depth of the zone is at least 0.1 µm. 25
7. A method of manufacturing a component according to any one of claims 1 to 6, characterised in that a zone near the surface of the component is cold-formed or melted and subsequently annealed at recrystallisation temperature and, finally, a diffused aluminium coating is applied to the recrystallised zone. 30
8. A method according to claim 7, characterised in that superficial cold-forming is carried out by shot-peening or mechanical processing of the surface regions of the component to be recrystallised. 35
9. A method according to claim 7 or 8, characterised in that recrystallisation and aluminium diffusion coating are carried out by means of a heat cycle, the superficially cold-formed component first being heated to the recrystallisation temperature in an aluminium diffusion coating installation and, after recrystallisation has taken place, the temperature being regulated for aluminium diffusion coating and aluminium-containing donor gas simultaneously being supplied. 40
10. A method according to any one of claims 7 to 9, characterised in that the heat cycle takes place using protective gas or under reduced pressure until the aluminium-containing donor gas is supplied. 45
11. A method according to any one of claims 7 to 10, characterised in that aluminium diffusion coating is carried out by means of a powder packing method and, to generate a donor gas, an aluminium donor of the ternary alloy Ti/Al/C is used. 50

## Revendications

1. Pièce constituée d'un composé intermétallique en titane et en aluminium, ou d'alliages de tels composés intermétalliques contenant des additifs d'alliage en tant que matériau de base, et avec un revêtement par diffusion d'aluminium du matériau de base, caractérisée en ce qu'entre le matériau de base et le revêtement par diffusion d'aluminium, la pièce comporte à proximité de la surface une zone fermée à structure de recristallisation.
2. Pièce selon la revendication 1, caractérisée en ce que le composé intermétallique est du TiAl.
3. Pièce selon la revendication 1 ou 2, caractérisée en ce que le composé intermétallique est un alliage de 50 à 95 % en volume de TiAl avec 5 à 50 % en volume de Ti<sub>3</sub>Al.
4. Pièce selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisée en ce que le composé intermétallique contient jusqu'à 4 % en atome d'additifs d'alliage.
5. Pièce selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisée en ce que les additifs d'alliage sont constitués de niobium, de molybdène, de tantale, de tungstène ou de vanadium ou de mélanges de ceux-ci.
6. Pièce selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisée en ce que la profondeur de la zone est d'au moins 0,1 µm.
7. Procédé destiné à la fabrication d'une pièce selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que dans une zone proche de la surface, la pièce est formée à froid ou soumise à un début de fusion, en ce qu'elle est ensuite recuite à température de recristallisation, et en ce qu'enfin un revêtement par diffusion d'aluminium est appliqué sur la zone recristallisée.
8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que le formage à froid de la surface est effectué par un grenaillage ou par un traitement mécanique des zones superficielles à recristalliser de la pièce.
9. Procédé selon la revendication 7 ou 8, caractérisé en ce qu'il est effectué une recristallisation et un revêtement par diffusion d'aluminium au moyen d'un cycle thermique, par le fait que la pièce dont la surface a été formée à froid est portée dans un premier temps à la température de recristallisation dans une installation de revêtement par diffusion d'aluminium, qu'après l'exécution de la recristallisation la température est réglée pour le revêtement par diffusion d'aluminium et qu'il est simultanément effec-

tué un apport de gaz dispensateur contenant de l'aluminium.

10. Procédé selon l'une des revendications 7 à 9, caractérisé en ce que jusqu'à l'amenée du gaz dispensateur contenant de l'aluminium, le cycle thermique est effectué sous gaz de protection ou à pression réduite. 5
11. Procédé selon l'une des revendications 7 à 10, caractérisé en ce que le revêtement par diffusion d'aluminium est effectué au moyen d'un procédé d'enrobage de poudre, et que pour générer un gaz dispensateur il est utilisé un donneur d'aluminium de l'alliage ternaire Ti/Al/C. 10 15

20

25

30

35

40

45

50

55

FIG. 1

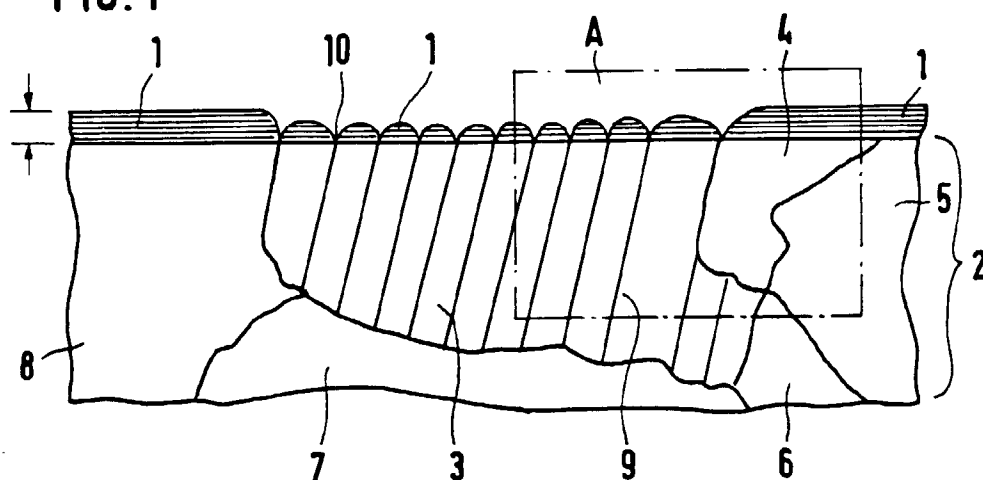


FIG. 2

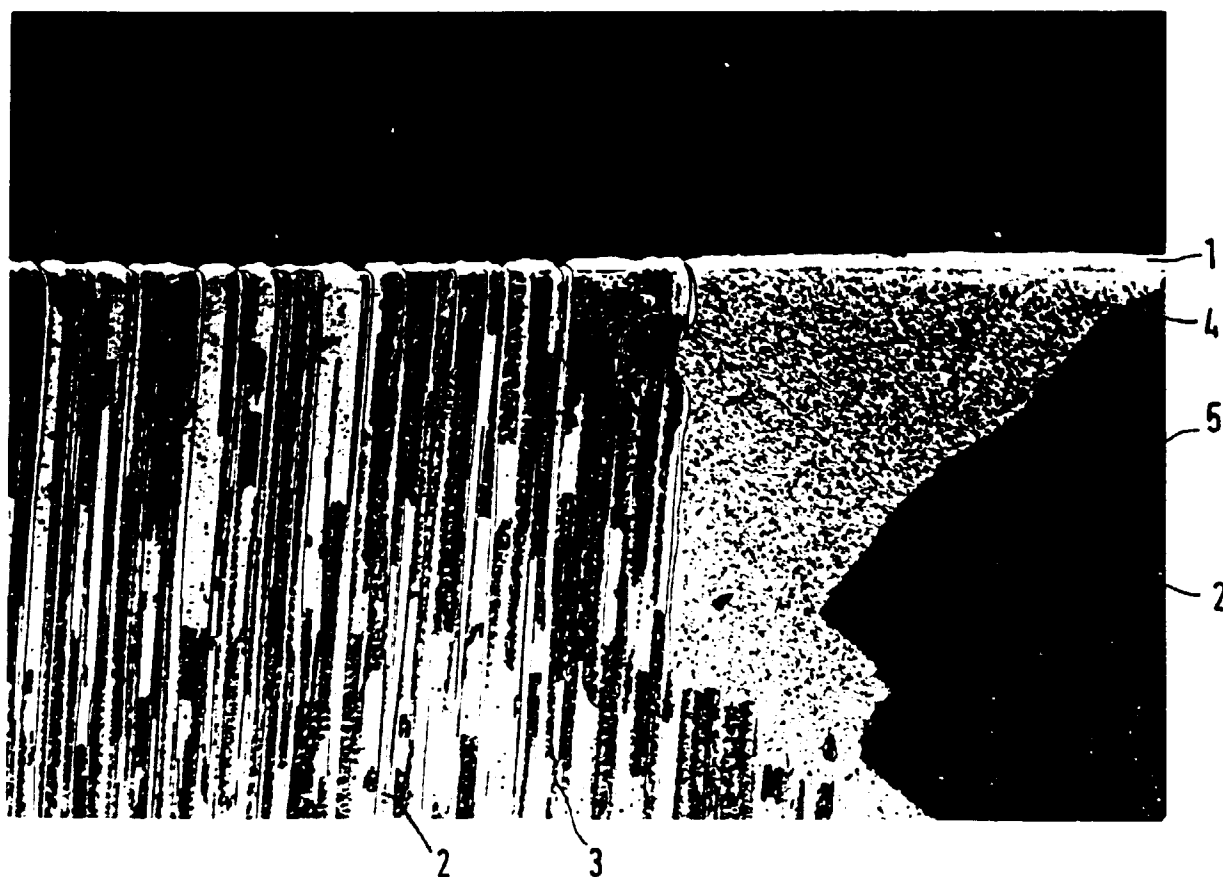


FIG. 3

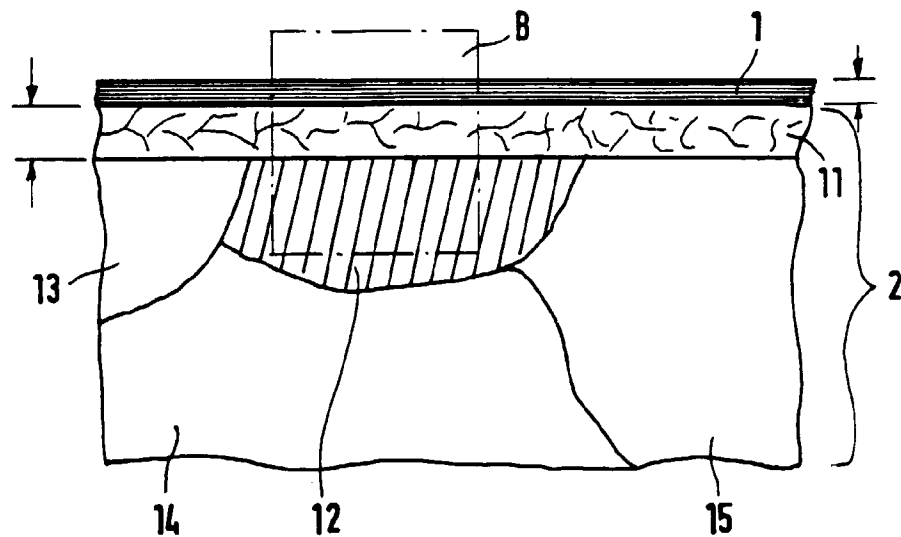


FIG. 4

