

(19)



(11)

EP 4 170 058 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
26.04.2023 Patentblatt 2023/17

(21) Anmeldenummer: **22199991.5**

(22) Anmeldetag: **06.10.2022**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):

C23C 4/073 ^(2016.01) **C22C 19/03** ^(2006.01)
C22C 19/05 ^(2006.01) **C22C 19/07** ^(2006.01)
C23C 4/08 ^(2016.01) **C23C 4/134** ^(2016.01)
C23C 4/18 ^(2006.01) **C23C 10/08** ^(2006.01)
C23C 10/18 ^(2006.01) **C23C 10/48** ^(2006.01)
C23C 10/60 ^(2006.01) **C23C 16/12** ^(2006.01)
C23C 16/56 ^(2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):

C23C 4/134; C22C 19/03; C22C 19/05;
C22C 19/051; C22C 19/056; C22C 19/07;
C23C 4/073; C23C 4/08; C23C 4/18; C23C 10/08;
C23C 10/18; C23C 10/48; C23C 10/60;
C23C 16/12; C23C 16/56

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

Benannte Erstreckungsstaaten:

BA

Benannte Validierungsstaaten:

KH MA MD TN

(30) Priorität: **21.10.2021 DE 102021127344**

(71) Anmelder: **MTU Aero Engines AG**
80995 München (DE)

(72) Erfinder:

- **Dietenberger, Simon**
80995 München (DE)
- **Albert, Beate**
80995 München (DE)
- **Utz, Philipp**
80995 München (DE)
- **Hilser, Ludwig**
80995 München (DE)
- **Hertter, Manuel**
80995 München (DE)
- **Mosbacher, Mike**
80995 München (DE)

(54) **VERFAHREN ZUM BESCHICHTEN EINES BAUTEILS EINES FLUGTRIEBWERKS MIT EINER VERSCHLEISSSCHUTZSCHICHT UND BAUTEIL FÜR EIN FLUGTRIEBWERK MIT WENIGSTENS EINER VERSCHLEISSSCHUTZSCHICHT UND BAUTEIL FÜR EIN FLUGTRIEBWERK MIT WENIGSTENS EINER VERSCHLEISSSCHUTZSCHICHT**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Beschichten eines Bauteils eines Flugtriebwerks mit einer Verschleißschuttschicht, bei welchem das Bauteil zunächst zumindest bereichsweise mit einer Nickel- oder Cobaltbasislegierung beschichtet und anschließend aliiert wird. Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zum Herstellen eines Spritzpulvers für die Herstellung einer Verschleißschuttschicht eines Bauteils eines Flugtriebwerks, ein Bauteil für ein Flugtriebwerk sowie ein Flugtriebwerk, welches wenigstens ein derartiges Bauteil umfasst.

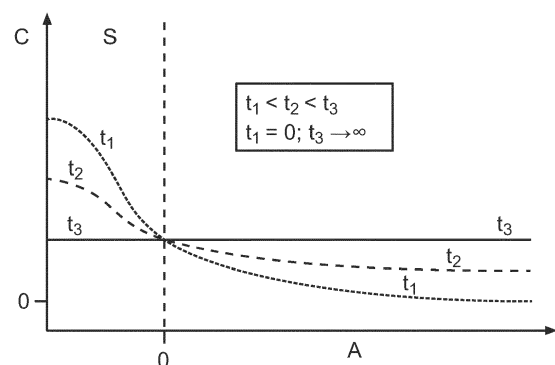


Fig.

EP 4 170 058 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Beschichten eines Bauteils eines Flugtriebwerks mit einer Verschleißschuttschicht, ein Verfahren zum Herstellen eines Spritzpulvers für die Herstellung einer Verschleißschuttschicht eines Bauteils eines Flugtriebwerks, ein Verfahren zum Herstellen einer Verschleißschuttschicht auf einem Bauteil eines Flugtriebwerks, ein Bauteil für ein Flugtriebwerk, welches zumindest bereichsweise mit einer Verschleißschuttschicht versehen ist, sowie ein Flugtriebwerk, welches wenigstens ein solches Bauteil umfasst.

[0002] In Flugtriebwerken kommt es an Kontaktstellen von Bauteilen durch Vibration und Reibung zu Verschleiß. Um den Grundwerkstoff der einzelnen Bauteile vor diesem Verschleiß zu schützen, werden häufig thermisch gespritzte Verschleißschuttschichten aufgebracht. Eine typische Verschleißschuttschicht ist beispielsweise eine thermisch gespritzte Tribaloy T800 Schicht. Bei dieser Schicht, die bis ca. 900 °C eingesetzt werden kann, handelt es sich um ein Cobaltbasis-Pulver, das üblicher Weise via Hochgeschwindigkeitsflammspritzen (HVOF) aufgebracht wird. Es ist ebenfalls bekannt, Nickelbasis-Pulver zur Herstellung solcher Verschleißschichten zu verwenden.

[0003] Die Einsatztemperaturen von Verschleißschuttschichten sind aufgrund von Oxidation bei hohen Temperaturen begrenzt. Werden die Schichten über der angegebenen Temperatur von ca. 900 °C eingesetzt, oxidieren diese stark und der Verschleißschutz für den Grundwerkstoff des Bauteils ist nicht weiter gegeben. Ein Angriff des Grundwerkstoffs führt in der Folge zu frühzeitigen Reparaturen oder erfordert den Austausch des Bauteils. Zukünftige Triebwerksprogramme zielen zum Erreichen der geforderten Effizienz auf immer höhere Temperaturen ab. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit von Verschleißschuttschichten, die auch bei Temperaturen über 900 °C zuverlässig eingesetzt werden kann.

[0004] Aufgaben der vorliegenden Erfindung bestehen darin, ein Verfahren zum Beschichten eines Bauteils eines Flugtriebwerks mit einer Verschleißschuttschicht, ein Verfahren zum Herstellen eines

[0005] Spritzpulvers für die Herstellung einer Verschleißschuttschicht eines Bauteils eines Flugtriebwerks, ein Verfahren zum Herstellen einer Verschleißschuttschicht auf einem Bauteil eines Flugtriebwerks, ein Bauteil für ein Flugtriebwerk, welches zumindest bereichsweise mit einer Verschleißschuttschicht versehen ist, sowie ein Flugtriebwerk, welches wenigstens ein solches Bauteil umfasst, bereitzustellen, wobei die jeweiligen Verschleißschuttschichten auch bei Temperaturen über 900 °C zuverlässig eingesetzt werden können.

[0006] Die Aufgaben werden erfindungsgemäß durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1 zum Beschichten eines Bauteils eines Flugtriebwerks mit einer Verschleißschuttschicht, ein Verfahren gemäß Anspruch 8 zum Herstellen eines Spritzpulvers für die Herstellung einer Verschleißschuttschicht eines Bauteils eines Flugtriebwerks, ein Verfahren gemäß Anspruch 9 zum Herstellen einer Verschleißschuttschicht auf einem Bauteil eines Flugtriebwerks, ein Verfahren gemäß Anspruch 10 zum Herstellen einer Verschleißschuttschicht auf einem Bauteil eines Flugtriebwerks, ein Bauteil gemäß Anspruch 11, welches zumindest bereichsweise mit einer Verschleißschuttschicht versehen ist, sowie ein Flugtriebwerk gemäß Anspruch 12, welches wenigstens ein solches Bauteil umfasst. Vorteilhafte Ausgestaltungen mit zweckmäßigen Weiterbildungen der Erfindung sind in den jeweiligen Unteransprüchen angegeben, wobei vorteilhafte Ausgestaltungen jedes Erfindungsaspekts als vorteilhafte Ausgestaltungen der jeweils anderen Erfindungsaspekte anzusehen sind.

[0007] Ein erster Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zum Beschichten eines Bauteils eines Flugtriebwerks mit einer Verschleißschuttschicht, bei welchem das Bauteil erfindungsgemäß zunächst zumindest bereichsweise mit einer Nickel- oder Cobaltbasislegierung beschichtet und anschließend alitiert wird. Mit anderen Worten ist es erfindungsgemäß vorgesehen, dass in die Verschleißschuttschicht nachträglich Aluminium bzw. eine Aluminiumlegierung eingebracht wird, welches bzw. welche die Verschleißschuttschicht durch eindiffundiertes Aluminium vor Oxidation schützt. Im Rahmen der vorliegenden Offenbarung sind unter dem Begriff "Aluminium" auch immer "Aluminiumlegierungen" als mitumfasst anzusehen. Alitieren bezeichnet im Rahmen der vorliegenden Offenbarung die Anreicherung von Aluminium in der Verschleißschuttschicht, welche danach vor Hochtemperaturoxidation aber auch gegen den Angriff anderer Elemente besser geschützt ist und daher auch bei Temperaturen über 900 °C zuverlässig betrieben werden kann. Die Anreicherung des Aluminiums kann nur oberflächlich sein oder tiefer in die Verschleißschuttschicht vordringen. Im Extremfall liegt das Aluminium zumindest im Wesentlichen gleichmäßig in der Verschleißschuttschicht verteilt vor. Generell sind "ein/eine" im Rahmen dieser Offenbarung als unbestimmte Artikel zu lesen, also ohne ausdrücklich gegenteilige Angabe immer auch als "mindestens ein/mindestens eine". Umgekehrt können "ein/eine" auch als "nur ein/nur eine" verstanden werden.

[0008] In einer vorteilhaften Ausgestaltung ist vorgesehen, dass die Nickel- oder Cobaltbasislegierung durch eine Gasphasenalitierung und/oder durch eine Schlickeralitierung und/oder durch Pulverpackalitieren alitiert wird. Mit anderen Worten kann das Aluminium über einen Gasphasenprozess, beispielsweise chemische Gasphasenabscheidung (CVD), und/oder über ein Schlickerverfahren in die Verschleißschuttschicht eingebracht werden. Hierdurch kann die Verschleißschuttschicht optimal in Abhängigkeit der Geometrie und des Grundwerkstoffs des Bauteils alitiert werden.

[0009] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die Verschleißschuttschicht nach dem Alitieren einer Wärmebehandlung unterzogen. Hierdurch kann die Verteilung des Aluminiums innerhalb der Verschleißschuttschicht gezielt eingestellt werden, da das Aluminium durch die Wärmebehandlung in das Innere

der Verschleißschuttschicht diffundiert. Ferner ist anzunehmen, dass sich im Betrieb der Verschleißschuttschicht bei hohen Temperaturen in einem Flugtriebwerk nach einer bestimmten Zeit eine relativ homogene Verteilung des Aluminiums über die Zeit einstellt. Durch eine gezielte Wärmebehandlung kann dieser Zustand von vornherein hergestellt werden, so dass sich die Eigenschaften der Verschleißschuttschicht im späteren Betrieb zumindest im Wesentlichen nicht mehr ändern, selbst wenn es bei hohen Temperaturen zu einer Interdiffusion mit dem Grundwerkstoff kommt, der eine andere chemische Zusammensetzung aufweisen kann als die Verschleißschuttschicht. Zusätzlich können durch die Wärmebehandlung die Struktur und das Gefüge der Verschleißschuttschicht verändert werden. Unter einer Wärmebehandlung ist im Rahmen der vorliegenden Offenbarung ein Verfahren zur Behandlung des mit der Verschleißschuttschicht versehenen Bauteils zu verstehen, bei dem zumindest die Verschleißschuttschicht oder das gesamte Bauteil kontrolliert erwärmt und wieder abgekühlt wird.

[0010] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung umfasst die Wärmebehandlung ein Diffusionsglühverfahren, welches besonders gut geeignet ist, um Gefügeinhomogenitäten zu reduzieren. Alternativ oder zusätzlich ist es vorgesehen, dass die Wärmebehandlung bei gegenüber Normaldruck vermindertem Druck und/oder unter Schutzgasatmosphäre durchgeführt wird. Hierdurch können insbesondere der Sauerstoffgehalt kontrolliert und unerwünschte Oxidation vermieden werden.

[0011] Weitere Vorteile ergeben sich, indem die Nickel- oder Cobaltbasislegierung nach dem Aufbringen auf das Bauteil und vor dem Alitieren zumindest bereichsweise vernickelt wird. Durch eine vorzugsweise galvanische Vernickelung der Verschleißschuttschicht kann die Diffusion des Aluminiums in die Schicht gefördert werden. Bei Nickelbasislegierungen ist dieser Schritt häufig nicht notwendig, im Einzelfall aber dennoch hilfreich.

[0012] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Nickel- oder Cobaltbasislegierung ausgewählt ist aus CoMoCrSi-Legierungen, insbesondere T800, NiMoCrSi-Legierungen und CoCrWNi-Legierungen. Hierdurch können die Vorteile der erfindungsgemäß hergestellten Verschleißschuttschicht für im Triebwerksbau gängige und bewährte Legierungen realisiert werden.

[0013] In einer Ausgestaltung der Erfindung ist die Nickel- oder Cobaltbasislegierung eine CoMoCrSi-Legierung, nämlich T800, mit 27 - 30 Gew.% Mo, 16,5 - 18,5 Gew.% Cr, 3-3,8 Gew.% Si und dem Rest Co und unvermeidbaren Verunreinigungen. Dabei können die unvermeidbaren Verunreinigungen bis zu 1,7 Gew.% pro Bestandteil, bis zu 3,5 Gew.% in Summe und/oder die Bestandteile Fe, Ni, O, C, P, S umfassen. Der Mo-Bestandteil kann dabei Härte und Tribooxide für einen vorteilhaften Verschleißschutz einbringen.

[0014] In einer Ausgestaltung der Erfindung ist die Nickel- oder Cobaltbasislegierung eine NiMoCrSi-Legierung, nämlich T700, mit 31 - 34 Gew.% Mo, 14,5 - 16,5 Gew.% Cr, 3-3,8 Gew.% Si und dem Rest Ni und unvermeidbaren Verunreinigungen. Dabei können die unvermeidbaren Verunreinigungen bis zu 3,2 Gew.% pro Bestandteil, bis zu 4,1 Gew.% in Summe und/oder die Bestandteile Fe, Co, O, C, P, S umfassen. Der Mo-Bestandteil kann dabei Härte und Tribooxide für einen vorteilhaften Verschleißschutz einbringen.

[0015] In einer Ausgestaltung der Erfindung ist die Nickel- oder Cobaltbasislegierung eine CoCrWNi-Legierung mit 24,5 - 26,5 Gew.% Cr, 6,5 - 8,0 Gew.% W, 9,5 - 11,5 Gew.% Ni, 0 - 0,6 Gew.% C, insbesondere 0,42 - 0,55 Gew.% C und dem Rest Co und unvermeidbare Verunreinigungen. Dabei können die unvermeidbaren Verunreinigungen bis zu 2,2 Gew.% pro Bestandteil, bis zu 4,5 Gew.% in Summe und/oder die Bestandteile Fe, Mn, Si, P, S umfassen. Der W-Bestandteil kann dabei Härte für einen vorteilhaften Verschleißschutz einbringen.

[0016] Ein zweiter Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines Spritzpulvers für die Herstellung einer Verschleißschuttschicht eines Bauteils eines Flugtriebwerks, bei welchem eine Nickel- oder Cobaltbasislegierung bereitgestellt, mit Aluminium und/oder einer Aluminiumlegierung versetzt und gemeinsam aufgeschmolzen und/oder verdüst wird. Dies stellt eine vorteilhafte Möglichkeit zur Bereitstellung eines Spritzpulvers dar, das sich zur Herstellung einer temperatur- und oxidationsbeständigen Verschleißschuttschicht aus einer Aluminium-haltigen bzw. alitierten Nickel- oder Cobaltbasislegierung eignet. Durch das gemeinsame Verdüsen bzw. Aufschmelzen ist sichergestellt, dass das Aluminium von vornherein relativ gleichmäßig im Pulver verteilt vorliegt, wodurch eine mit Hilfe des Spritzpulvers hergestellte Verschleißschuttschicht ebenfalls von vornherein eine relativ gleichmäßige Verteilung von Aluminium aufweist. Weitere Merkmale und deren Vorteile ergeben sich aus den Beschreibungen des ersten Erfindungsaspekts.

[0017] Ein dritter Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen einer Verschleißschuttschicht auf einem Bauteil eines Flugtriebwerks, bei welchem ein erstes Pulver aus einer Nickel- oder Cobaltbasislegierung mit einem zweiten Pulver aus Aluminium und/oder einer Aluminiumlegierung vermischt wird, wonach das erste und zweite Pulver zumindest auf einen Bereich des Bauteils thermisch gespritzt werden, um die Verschleißschuttschicht herzustellen. Dies stellt eine weitere vorteilhafte Alternative zur Herstellung einer temperatur- und oxidationsbeständigen Verschleißschuttschicht aus einer Aluminium-haltigen bzw. alitierten Nickel- oder Cobaltbasislegierung dar. Vorzugsweise werden das erste und das zweite Pulver gleichzeitig gespritzt, wenn eine homogene Vermischung gewünscht ist. Alternativ kann es vorgesehen sein, dass das erste und das zweite Pulver nacheinander oder in zeitlich variierenden Mengenanteilen gespritzt werden, um eine bestimmte Aluminium-Verteilung in der Verschleißschuttschicht zu erzielen.

[0018] Weitere Merkmale und deren Vorteile ergeben sich aus den Beschreibungen der vorhergehenden Erfindungsaspekte.

[0019] Ein vierter Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen einer Verschleißschuttschicht auf einem Bauteil eines Flugtriebwerks, bei welchem ein Verbundpulver aus einem ersten Pulver, welches aus einer Nickel- oder Cobaltbasislegierung besteht, und einem zweiten Pulver, welches aus Aluminium und/oder einer Aluminiumlegierung besteht, hergestellt wird, wonach das Verbundpulver zumindest auf einen Bereich des Bauteils thermisch gespritzt wird, um die Verschleißschuttschicht herzustellen. Dies stellt eine weitere vorteilhafte Alternative zur Herstellung einer temperatur- und oxidationsbeständigen Verschleißschuttschicht aus einer Aluminium-haltigen bzw. alitierten Nickel- oder Cobaltbasislegierung dar. Das Verbundpulver kann generell aus losen und/oder verklebten Pulverpartikeln bestehen. Anstelle der Verwendung von zwei unterschiedlichen Pulvern wird ein Verbundpulver verwendet, welches als eine Komponente gespritzt wird, um die alitierte Verschleißschuttschicht herzustellen. Hierdurch kann eine besonders gleichmäßige Verteilung des Aluminiums in der Verschleißschuttschicht sichergestellt werden. Weitere Merkmale und deren Vorteile ergeben sich aus den Beschreibungen der vorhergehenden Erfindungsaspekte.

[0020] Ein fünfter Aspekt der Erfindung betrifft ein Bauteil für ein Flugtriebwerk, welches zumindest bereichsweise mit einer Verschleißschuttschicht versehen ist. Erfindungsgemäß besteht die Verschleißschuttschicht aus einer alitierten Nickel- oder Cobaltbasislegierung. Mit Hilfe der Verschleißschuttschicht kann das Bauteil auch bei Temperaturen über 900 °C zuverlässig in einem Flugtriebwerk eingesetzt werden. Weitere Merkmale und deren Vorteile ergeben sich aus den Beschreibungen der vorhergehenden Erfindungsaspekte.

[0021] Ein sechster Aspekt der Erfindung betrifft ein Flugtriebwerk, welches wenigstens ein Bauteil gemäß dem fünften Erfindungsaspekt umfasst und/oder welches wenigstens ein Bauteil umfasst, das eine Verschleißschuttschicht aufweist, die gemäß dem ersten Erfindungsaspekt hergestellt ist und/oder die aus einem gemäß dem zweiten Erfindungsaspekt hergestellten Spritzpulvers erzeugt ist und/oder die mittels eines Verfahrens nach dem dritten oder vierten Erfindungsaspekt hergestellt ist. Hierdurch kann das Bauteil auch bei Temperaturen über 900 °C zuverlässig in dem Flugtriebwerk eingesetzt werden, wodurch das Flugtriebwerk eine erhöhte Effizienz besitzt. Weitere Merkmale und deren Vorteile ergeben sich aus den Beschreibungen der vorhergehenden Erfindungsaspekte.

[0022] Weitere Merkmale der Erfindung ergeben sich aus den Ansprüchen, den Figuren und der Figurenbeschreibung. Die vorstehend in der Beschreibung genannten Merkmale und Merkmalskombinationen, sowie die nachfolgend in der Figurenbeschreibung genannten und/oder in der Figur alleine gezeigten Merkmale und Merkmalskombinationen sind nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen verwendbar, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen. Es sind somit auch Ausführungen von der Erfindung als umfasst und offenbart anzusehen, die in der Figur nicht explizit gezeigt und erläutert sind, jedoch durch separierte Merkmalskombinationen aus den erläuterten Ausführungen hervorgehen und erzeugbar sind. Es sind auch Ausführungen und Merkmalskombinationen als offenbart anzusehen, die somit nicht alle Merkmale eines ursprünglich formulierten unabhängigen Anspruchs aufweisen. Es sind darüber hinaus Ausführungen und Merkmalskombinationen, insbesondere durch die oben dargelegten Ausführungen, als offenbart anzusehen, die über die in den Rückbezügen der Ansprüche dargelegten Merkmalskombinationen hinausgehen oder von diesen abweichen. Dabei zeigt die einzige Figur ein Diagramm der Aluminium-Verteilung in einer Verschleißschuttschicht eines Bauteils eines Flugtriebwerks durch Diffusion zu unterschiedlichen Zeiten.

[0023] Die einzige **Figur** zeigt ein Diagramm, in welchem auf der Ordinate eine Aluminiumkonzentration C und auf der Abszisse ein Abstand A von einer mit "0" gekennzeichneten Grenzfläche einer Verschleißschuttschicht aus einer Nickel- oder Cobaltbasislegierung eines Bauteils eines Flugtriebwerks zu drei unterschiedlichen Zeiten t_1 , t_2 , t_3 aufgetragen ist. Links von der mit 0 gekennzeichneten Grenzfläche der ursprünglichen Verschleißschuttschicht befindet sich die jeweils erzeugte Alitierschicht S , während sich rechts von der mit 0 gekennzeichneten Schichtoberfläche die Verschleißschuttschicht erstreckt.

[0024] Ni- oder Co-Basis-Verschleißschuttschichten können auf Grund ihrer Zusammensetzung nach dem aktuellen Stand der Technik nicht stabil über 900°C eingesetzt werden. Grund hierfür ist das Versagen der Schicht durch Oxidation bei hohen Temperaturen. Die vorliegende Erfindung basiert auf der Erkenntnis, dass Aluminium als Temperatur- und Oxidationsschutz durch Diffusion in typische Ni- oder Co-Basis-Verschleißschuttschichten eingebracht werden kann, wodurch die entstandenen alitierten Verschleißschuttschichten auch oberhalb von 900 °C zuverlässig betrieben werden können. Die Verschleißschuttschichten sollen vorzugsweise durch thermisches Spritzen hergestellt werden können.

[0025] Die Herstellbarkeit einer Hochtemperaturverschleißschuttschicht, durch Eindiffundieren von Aluminium als Oxidationsschutz in bestehende Verschleißschuttschichten wurde in den folgenden Versuchen nachgewiesen. Es wurden insgesamt drei unterschiedliche Verschleißschuttschichten auf Co-Basis (zum Beispiel CoMoCrSi) bzw. Ni-Basis (zum Beispiel NiMoCrSi) durch thermisches Spritzen auf einem Bauteil eines Flugtriebwerks hergestellt und anschließend alitiert. Das Aluminium wurde dabei in manchen Versuchen durch eine Gasphasenalitierung und in anderen Versuchen über eine Schlickerroute in die jeweilige Verschleißschuttschicht eingebracht. Anschließend wurde ein Teil der beschichteten Bauteile im Vakuum wärmebehandelt.

[0026] Die Verschleißschuttschichten wurden jeweils metallographisch ausgewertet. Zudem wurde nach der Gasphasenalitierung sowie nach der anschließenden Vakuum-Wärmebehandlung eine Elementanalyse (EDX) am Schliff durchgeführt, um nachzuvollziehen, wie weit das Aluminium in die Verschleißschuttschichten eindiffundiert ist.

1. Gasphasenalitierung

[0027] Nach der Gasphasenalitierung (CVD) wurde sowohl in der Ni-Basis- Verschleißschuttschicht als auch in den beiden Co-Basis-Verschleißschuttschichten eindiffundiertes Aluminium nachgewiesen. Der Al-Gehalt ist an der Schichtoberfläche am höchsten und nimmt mit zunehmendem Abstand A zur Oberfläche der Verschleißschuttschicht ab. Dieses Verhalten ist typisch für Diffusionsschichten. Aus diesem Grund wurde im Anschluss an das Gasphasenalitieren ein zusätzliches Diffusionsglühen im Vakuum durchgeführt, um eine gleichmäßigere Verteilung des Al-Gehalts über die Schichtdicke A der Verschleißschuttschichten zu erzielen. Die Auswertung der Elementanalyse (EDX) nach dem Diffusionsglühen ist in der Figur dargestellt. Der Aluminiumgehalt C an der Schichtoberfläche der Alitierung S sinkt nach der Wärmebehandlung (gestrichelte Linie t_2) ab, im Gegenzug ist das Aluminium im Vergleich zur Verschleißschuttschicht nach dem Alitieren (gepunktete Linie t_1) in größerem Abstand zur Schichtoberfläche nachweisbar. Auch nach dieser Wärmebehandlung, die bei gleicher Temperatur wie die Alitierung durchgeführt wurde, liegt noch keine homogene Verteilung des Aluminiums über die Schichtdicke A vor. Die Temperatur kann beispielsweise zwischen 750 °C und 900 °C oder mehr betragen. Durch eine Verlängerung der Wärmebehandlung und/oder durch die Temperaturen während des Betriebs des Bauteils im Flugtriebwerk diffundiert das Aluminium weiter und verteilt sich gleichmäßig in der Verschleißschuttschicht, so dass sich eine Gleichverteilung der Al-Konzentration C über die Dicke der Verschleißschuttschicht ergibt. Dies ist mit der Verteilungskurve t_3 schematisch dargestellt.

2. Schlickeralitierung

[0028] Nach dem Aufbringen des Al-haltigen Schlickers wird dieser durch eine Wärmebehandlung im Schutzgas diffusionsgeglüht. Die Temperatur bei dieser Art des Alitierens ist im Vergleich zur Gasphasenalitierung niedriger. Alle Verschleißschuttschichten zeigen nach dem Diffusionsglühen eine deutliche Lagigkeit, bestehend aus einer Auflage-schicht, einer Diffusionszone, sowie einer Zone, in der die lamellenartige thermische Spritzschicht noch deutlich zu erkennen ist. Die entstehenden Auflageschichten unterscheiden sich zwischen den Co- und Ni-Basissschichten deutlich. Während sich bei der Ni-Basissschicht eine dichte Auflageschicht bildet, ist sie bei den beiden Co-Basissschichten von Poren durchsetzt.

[0029] Beim Einbringen von Aluminium in die Verschleißschuttschicht sollte darauf geachtet werden, dass die eigentliche Aufgabe des Verschleißschutzes erhalten bleibt. Das bedeutet, dass nach dem Alitieren der Schicht eine ähnliche Härte vorliegen und die geforderte Verschleißbeständigkeit sichergestellt sein muss. Ein zu hoher oder zu niedriger Al-Gehalt sollte daher in der Regel vermieden werden.

[0030] Es wurde gezeigt, dass durch Diffusion Aluminium in thermisch gespritzte Verschleißschuttschichten eingebracht werden kann. Dabei wurden sowohl alitierte Verschleißschuttschichten aus Ni-Basislegierungen als auch aus Co-Basislegierungen hergestellt. Generell können nicht nur die oben genannten, sondern sämtliche Ni- bzw. Co-Basislegierungen in der beschriebenen Weise alitiert werden.

[0031] Je nach Verfahren und Art und Dauer einer anschließenden Wärmebehandlung ergibt sich eine hohe Konzentration des Aluminiums an der Oberfläche der Verschleißschuttschicht, die je nach Schichtzusammensetzung mehr oder weniger stark mit dem Abstand A zur Schichtoberfläche abnimmt. Es konnte gezeigt werden, dass sich die Verteilung des Aluminiums durch eine anschließende Wärmebehandlung und damit durch eine Weiterdiffusion des Aluminiums anpassen lässt. Ferner ist anzunehmen, dass sich im Betrieb der Verschleißschuttschicht bei hohen Temperaturen nach einer bestimmten Zeit eine homogene oder zumindest quasi-homogene Verteilung des Aluminiums über die Zeit einstellt (t_3).

[0032] Durch die Auswahl des passenden Alitierungsverfahrens und einer Parameteroptimierung kann für jedes Bauteil eine optimale Verschleißschuttschicht erzeugt werden kann, die einen gleichmäßigen oder ungleichmäßigen Verlauf der Aluminiumkonzentration C von der Schichtoberfläche ausgehend aufweist. Der Verlauf der Aluminiumkonzentration C kann sich durch Weiterdiffusion im Betrieb des Bauteils nach einer bestimmten Zeit homogenisieren.

[0033] Um von Beginn an eine homogene Verteilung des Aluminiums über die Schichtdicke der Verschleißschuttschicht zu erreichen, kann es vorgesehen sein, dem Co- oder Ni-Basis-Pulver vor dem thermischen Spritzen Aluminumpulver beizumischen. Bei einer gleichmäßigen Durchmischung des Pulvers ergibt sich so direkt nach dem thermischen Spritzen eine homogene oder zumindest weitgehend homogene Verteilung des Aluminiums im Schichtverbund. Sollten bei dieser Methode Schwierigkeiten durch Entmischung auftreten, kann es alternativ vorgesehen sein, das Co- oder Ni-Basispulver mit Al-Pulver zu verkleben. Das so hergestellte Verbundpulver würde ebenfalls zu einer homogenen oder zumindest weitgehend homogenen Al-Verteilung in der resultierenden Verschleißschuttschicht führen.

[0034] Eine weitere Methode besteht darin, bereits der Ni- oder Co-Ausgangslegierung, aus der das Pulver für die Verschleißschuttschicht hergestellt wird, Aluminium beizumischen. Nach der Verdüsung liegt in diesem Fall schon Spritzpulver mit dem gewünschten Al-Gehalt vor. Bei dieser Variante ist zudem keine unerwünschte Separation des Aluminiums bzw. keine Entmischung zu erwarten.

[0035] Die in den Unterlagen angegebenen Parameterwerte zur Definition von Prozess- und Messbedingungen für

die Charakterisierung von spezifischen Eigenschaften des Erfindungsgegenstands sind auch im Rahmen von Abweichungen - beispielsweise aufgrund von Messfehlern, Systemfehlern, Einwaagefehlern, DIN-Toleranzen und dergleichen - als vom Rahmen der Erfindung mitumfasst anzusehen.

5 Bezugszeichenliste:

[0036]

10 C Konzentration Aluminium
A Abstand von einer Grenzfläche einer Verschleißschuttschicht
0 Grenzfläche der Verschleißschuttschicht
S Alitierung
t₁-t₃ Zeitpunkte einer Wärmebehandlung

15

Patentansprüche

1. Verfahren zum Beschichten eines Bauteils eines Flugtriebwerks mit einer Verschleißschuttschicht, bei welchem das Bauteil zunächst zumindest bereichsweise mit einer Nickel- oder Cobaltbasislegierung beschichtet und anschließend alitiert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei welchem die Nickel- oder Cobaltbasislegierung durch eine Gasphasenalitierung und/oder durch eine Schlickeralitierung und/oder durch Pulverpackalitieren alitiert wird.
- 25 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei welchem die Verschleißschuttschicht nach dem Alitieren einer Wärmebehandlung unterzogen wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, bei welchem die Wärmebehandlung ein Diffusionsglühverfahren umfasst und/oder bei welchem die Wärmebehandlung bei gegenüber Normaldruck vermindertem Druck und/oder unter Schutzgasatmosphäre durchgeführt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei welchem die Nickel- oder Cobaltbasislegierung nach dem Aufbringen auf das Bauteil und vor dem Alitieren zumindest bereichsweise vernickelt wird.
- 35 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei welchem die Nickel- oder Cobaltbasislegierung ausgewählt ist aus CoMoCrSi-Legierungen, insbesondere T800, NiMoCrSi-Legierungen und CoCrWNI-Legierungen.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei welchem die Nickel- oder Cobaltbasislegierung ausgewählt ist aus einer der folgenden Legierungen:

40

einer CoMoCrSi-Legierung, nämlich T800 mit folgender Zusammensetzung

Mo:	27 - 30 Gew.%,
Cr:	16,5 - 18,5 Gew %,
Si:	3-3,8 Gew %,

45

Rest Co und unvermeidbare Verunreinigungen.

einer NiMoCrSi-Legierung, nämlich T700 mit folgender Zusammensetzung:

50

Mo:	31 - 34 Gew.%,
Cr:	14,5 - 16,5 Gew %,
Si:	3-3,8 Gew %,

55

Rest Ni und unvermeidbare Verunreinigungen.

einer CoCrWNI-Legierung mit folgender Zusammensetzung:

EP 4 170 058 A2

Cr: 24,5 - 26,5 Gew.%,
W: 6,5 - 8,0 Gew.%,
Ni: 9,5 - 11,5 Gew.%,
C: 0 - 0,6 Gew.%, insbesondere 0,42 - 0,55 Gew.%,

Rest Co und unvermeidbare Verunreinigungen.

8. Verfahren zum Herstellen eines Spritzpulvers für die Herstellung einer Verschleißschuttschicht eines Bauteils eines Flugtriebwerks, bei welchem eine Nickel- oder Cobaltbasislegierung bereitgestellt, mit Aluminium und/oder einer Aluminiumlegierung versetzt und gemeinsam aufgeschmolzen und/oder verdüst wird.
9. Verfahren zum Herstellen einer Verschleißschuttschicht auf einem Bauteil eines Flugtriebwerks, bei welchem ein erstes Pulver aus einer Nickel- oder Cobaltbasislegierung mit einem zweiten Pulver aus Aluminium und/oder einer Aluminiumlegierung vermischt wird, wonach das erste und zweite Pulver zumindest auf einen Bereich des Bauteils thermisch gespritzt werden, um die Verschleißschuttschicht herzustellen.
10. Verfahren zum Herstellen einer Verschleißschuttschicht auf einem Bauteil eines Flugtriebwerks, bei welchem ein Verbundpulver aus einem ersten Pulver, welches aus einer Nickel- oder Cobaltbasislegierung besteht, und einem zweiten Pulver, welches aus Aluminium und/oder einer Aluminiumlegierung besteht, hergestellt wird, wonach das Verbundpulver zumindest auf einen Bereich des Bauteils thermisch gespritzt wird, um die Verschleißschuttschicht herzustellen.
11. Bauteil für ein Flugtriebwerk, welches zumindest bereichsweise mit einer Verschleißschuttschicht versehen ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verschleißschuttschicht aus einer alitierten Nickel- oder Cobaltbasislegierung besteht.
12. Flugtriebwerk, welches wenigstens ein Bauteil gemäß Anspruch 10 umfasst und/oder welches wenigstens ein Bauteil umfasst, das eine Verschleißschuttschicht aufweist, die gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7 hergestellt ist und/oder die aus einem gemäß Anspruch 8 hergestellten Spritzpulvers erzeugt ist und/oder die mittels eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 9 bis 10 hergestellt ist.

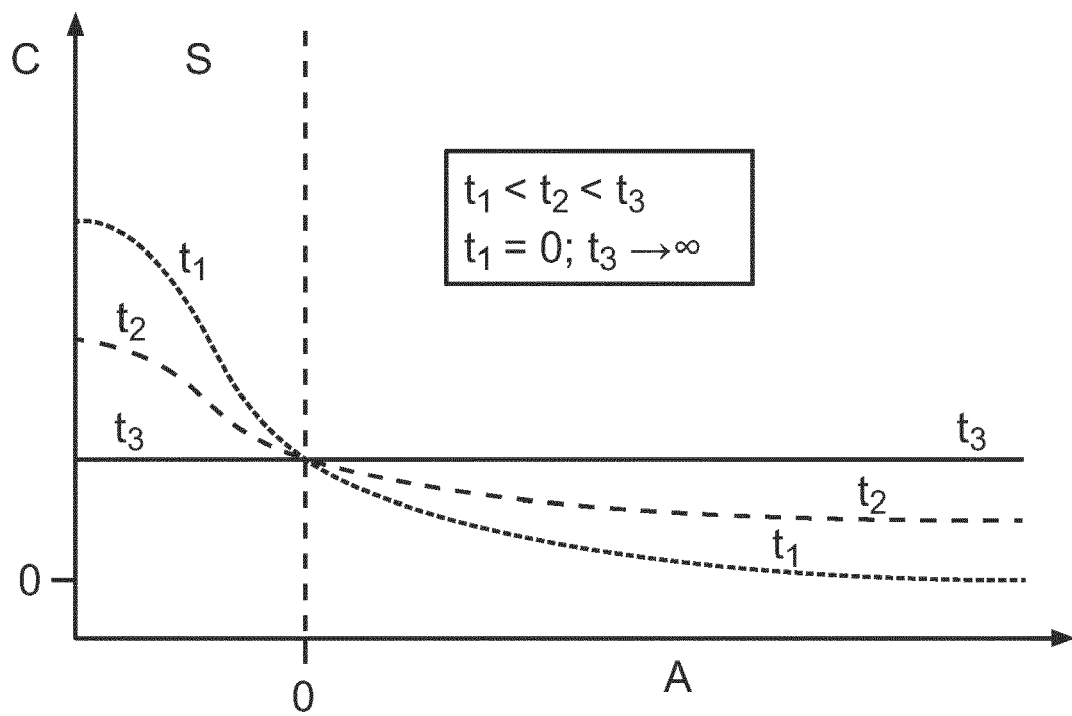


Fig.