



(11) **EP 3 109 332 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**28.12.2016 Patentblatt 2016/52**

(51) Int Cl.:  
**C22C 29/14** (2006.01) **C22C 32/00** (2006.01)  
**G21F 1/08** (2006.01) **C22C 1/10** (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **15001849.7**

(22) Anmeldetag: **23.06.2015**

(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 MK MT NL NO  
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**BA ME**  
Benannte Validierungsstaaten:  
**MA**

(71) Anmelder: **Airbus Defence and Space GmbH  
85521 Ottobrunn (DE)**

(72) Erfinder: **Palm, Frank  
D-85521 Ottobrunn (DE)**

(74) Vertreter: **Kopf Westenberger Wachenhausen  
Patentanwälte PartG mbB  
Brienner Straße 11  
80333 München (DE)**

(54) **METALLBORID-MODIFIZIERTER ALUMINIUM-BASIERTER WERKSTOFF FÜR DIE  
LAGERUNG ABGEBRANNTER KERNBRENNSTÄBE UND HERSTELLUNG DESSELBEN**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Metallmatrix-Verbundwerkstoff umfassend eine Aluminiummatrix, und in der Aluminiummatrix verteilte Partikel umfassend ein Metallborid, ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Metallmatrix-Verbundwerkstoffes, sowie ein Artikel

umfassend einen solchen Metallmatrix-Verbundwerkstoff und die Verwendung eines Metallborids vom MB<sub>6</sub>-Typ in einem Lagerungsbehälter für radioaktiv strahlende Kernbrennstäbe.

**EP 3 109 332 A1**

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Metallmatrix-Verbundwerkstoff umfassend eine Aluminiummatrix, und in der Aluminiummatrix verteilte Partikel umfassend ein Metallborid, ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Metallmatrix-Verbundwerkstoffes, sowie ein Artikel umfassend einen solchen Metallmatrix-Verbundwerkstoff und die Verwendung eines Metallborids vom MB<sub>6</sub>-Typ in einem Lagerungsbehälter für radioaktiv strahlende Kernbrennstäbe.

## Hintergrund der Erfindung

**[0002]** Metallmatrix-Verbundwerkstoffe umfassend Metallboride werden häufig zur Herstellung von Lagerungsbehälter für radioaktiv (noch schwach) strahlende Kernbrennstäbe verwendet. Insbesondere Metallboride vom MB<sub>4</sub>-Typ, wie Borcarbid (B<sub>4</sub>C), werden derzeit in Aluminium-Legierungen eingesetzt. Dazu werden die Aluminium-Legierungen mit pulverförmigem Borcarbid (B<sub>4</sub>C) versetzt, abgegossen und extrudiert bzw. ausgewalzt. Beispielsweise beschreibt die DE 10 2011 120 988 A1 ein flächiges Halbzeug aus einer Aluminiummatrixverbundlegierung mit Partikeln aus Borcarbid. Die Verwendung von Borcarbid bietet den Vorteil, dass eine gewisse Menge Bor als Neutronen-Fänger bereitgestellt werden kann.

**[0003]** Da es nach wie vor weltweit keine Endlager für abgebrannte Kernbrennstäbe gibt, werden die Sicherheitsanforderungen für entsprechende Lagerungsbehälter von den Firmen, die die Kernbrennstäbe nach der Verwendung lagern müssen, immer weiter hoch gesetzt. So muss der Werkstoff, der zur Herstellung der Lagerungsbehälter verwendet wird, insbesondere eine immer höhere Mindestmenge an Bor als Neutronen-Fänger enthalten. Darüber hinaus entsteht bei Ausfall der Wasserkühlung eine nicht unwesentliche Menge an Wärme, so dass der Werkstoff zusätzlich eine gewisse Warmfestigkeit aufweisen bzw. die entstehende Wärme gut abtransportieren muss. Diese Werkstoffeigenschaften müssen dazu noch für mindestens 40 Jahre, bevorzugter 50 Jahre, nachgewiesen werden. Weiter müssen die neuen Werkstoffe rigiden Kostenvorgaben gereicht werden.

**[0004]** Es besteht daher weiterhin ein Bedarf an Werkstoffen, die zur Herstellung von Lagerungsbehältern verwendet werden können, und die eine hohe Menge an Bor enthalten, eine hohe Warmfestigkeit und Wärmeleitfähigkeit bei einer ausreichenden Langzeitbeständigkeit aufweisen sowie kostengünstig und einfach herzustellen sind.

**[0005]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist daher, einen Werkstoff zur Verfügung zu stellen, der als Material zur Herstellung von Lagerungsbehälter für radioaktiv (noch schwach) strahlende Kernbrennstäbe geeignet ist. Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist, einen Werkstoff zur Verfügung zu stellen, der eine hohe Menge an Bor enthält, insbesondere eine Menge die hö-

her ist als die Menge, die üblicherweise mit Borcarbid (B<sub>4</sub>C) erzielt wird. Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist, dass der Werkstoff eine hohe Warmfestigkeit und Wärmeleitfähigkeit aufweist. Ferner ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, dass der Werkstoff eine ausreichende Langzeitbeständigkeit aufweist. Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist, dass der Werkstoff kostengünstig und einfach herzustellen ist.

**[0006]** Diese Aufgaben werden durch die in den Ansprüchen definierten Gegenstände gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen sind Gegenstand von Unteransprüchen.

## Zusammenfassung der Erfindung

**[0007]** Ein erster Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist dementsprechend ein Metallmatrix-Verbundwerkstoff umfassend

- a) eine Aluminiummatrix, und
- b) in der Aluminiummatrix verteilte Partikel umfassend ein Metallborid, wobei der Metallmatrix-Verbundwerkstoff das Metall-Kation in einer Menge

von 2 bis 20 Gew.-%, und Borid in einer Menge von 10 bis 40 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht des Metallmatrix-Verbundwerkstoffes, umfasst.

**[0008]** Der erfindungsgemäße Metallmatrix-Verbundwerkstoff ist als Material zur Herstellung von Lagerungsbehälter für radioaktiv strahlende Kernbrennstäbe geeignet. Ein weiterer Vorteil ist, dass der Metallmatrix-Verbundwerkstoff eine hohe Menge an Bor enthält, insbesondere eine Menge, die höher ist als die Menge die üblicherweise mit Borcarbid (B<sub>4</sub>C) erzielt wird. Ein weiterer Vorteil ist, dass der Metallmatrix-Verbundwerkstoff eine hohe Warmfestigkeit und Wärmeleitfähigkeit aufweist. Ein weiterer Vorteil ist, dass der Metallmatrix-Verbundwerkstoff eine ausreichende Langzeitbeständigkeit aufweist. Ein weiterer Vorteil ist, dass der Metallmatrix-Verbundwerkstoff kostengünstig und einfach herzustellen ist.

**[0009]** Beispielsweise umfasst die Aluminiummatrix als weitere Komponente mindestens eine Komponente ausgewählt aus der Gruppe umfassend Silicium (Si), Scandium (Sc), Kupfer (Cu), Magnesium (Mg), Nickel (Ni), Eisen (Fe), Vanadium (V), Titan (Ti), Zirkon (Zr), Ytterbium (Y), Mangan (Mn), Hafnium (Hf), Niob (Nb), Tantal (Ta), Lanthan (La) oder Mischungen hiervon umfasst.

**[0010]** Beispielsweise umfasst der Metallmatrix-Verbundwerkstoff die Aluminiummatrix in einer Menge von 40 bis 88 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht des Metallmatrix-Verbundwerkstoffes.

**[0011]** Beispielsweise weist die in der Aluminiummatrix verteilten Partikel umfassend ein Metallborid ein Gewichtsverhältnis der Isotopen <sup>11</sup>B zu <sup>10</sup>B [<sup>11</sup>B/<sup>10</sup>B] von 5:1 bis 3:1 auf.

**[0012]** Beispielsweise umfasst die in der Aluminium-

matrix verteilten Partikel ein Metallborid vom  $MB_6$ -Typ, wobei M ein Metall-Kation bezeichnet.

**[0013]** Beispielsweise umfassen die in der Aluminiummatrix verteilten Partikel Calcium-Hexaborid ( $CaB_6$ ) und/oder Lanthan-Hexaborid ( $LaB_6$ ),

**[0014]** Beispielsweise stellen die in der Aluminiummatrix verteilten Partikel Nanopartikel mit einem Durchmesser von 10 bis 100 000 nm dar.

**[0015]** Beispielsweise weist der Metallmatrix-Verbundwerkstoff eine Wärmeleitfähigkeit von mindestens  $160 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , bestimmt gemäß ISO 25239-1:2011, und/oder eine Festigkeit von mindestens  $117 \text{ N/mm}^2$  bei einer Temperatur von  $375^\circ\text{C}$ , bestimmt gemäß ISO 527-2, auf.

**[0016]** Beispielsweise wird der Metallmatrix-Verbundwerkstoff durch das hierin beschriebene Verfahren erhalten.

**[0017]** Die vorliegende Erfindung stellt ferner ein Verfahren zur Herstellung des Metallmatrix-Verbundwerkstoffes zur Verfügung. Das Verfahren umfasst

- a) Bereitstellen einer Aluminium-Vorlegierung umfassend ein Metall, das geeignet ist ein Metallborid zu bilden, wie hierin definiert,
- b) Bereitstellen einer Aluminium-Vorlegierung umfassend Bor,
- c) Schmelzen der Aluminium-Vorlegierungen aus Schritt a) und b),
- d) Inkontaktbringen der Aluminiumschmelzen aus Schritt c) bei einer Temperatur von mindestens  $900^\circ\text{C}$  zur Herstellung des Metallmatrix-Verbundwerkstoffes.

**[0018]** Beispielsweise erfolgt das Inkontaktbringen in Schritt d) bei einer Temperatur von  $900^\circ\text{C}$  bis  $1500^\circ\text{C}$ .

**[0019]** Beispielsweise wird der in Schritt d) erhaltene Metallmatrix-Verbundwerkstoff auf eine Temperatur unterhalb der in Schritt d) eingesetzten Temperatur abgekühlt.

**[0020]** Ebenso betrifft die vorliegende Erfindung einen Artikel, vorzugsweise ein Lagerungsbehälter für radioaktiv strahlende Kernbrennstäbe, umfassend den Metallmatrix-Verbundwerkstoff, wie hierin definiert.

**[0021]** Ferner betrifft die vorliegende Erfindung die Verwendung eines Metallborids vom  $MB_6$ -Typ in einem Lagerungsbehälter für radioaktiv strahlende Kernbrennstäbe.

#### Detaillierte Beschreibung der Erfindung

**[0022]** Die vorliegende Erfindung betrifft einen Metallmatrix-Verbundwerkstoff umfassend

- a) eine Aluminiummatrix, und
- b) in der Aluminiummatrix verteilte Partikel umfassend ein Metallborid, wobei der Metallmatrix-Verbundwerkstoff das Metall-Kation in einer Menge

von 2 bis 20 Gew.-%, und Borid in einer Menge von 10 bis 40 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht des Metallmatrix-Verbundwerkstoffes, umfasst.

**[0023]** Ein Erfordernis der vorliegenden Erfindung ist demnach, dass der Metallmatrix-Verbundwerkstoff eine Aluminiummatrix umfasst. Die Verwendung einer Aluminiummatrix ist vorteilhaft, da diese ein geringes Gewicht aufweist und somit zu einem geringeren Gesamtgewicht des Artikels, insbesondere des Lagerungsbehälters für radioaktiv strahlende Kernbrennstäbe, beiträgt. Ferner weist die Aluminiummatrix eine gute Wärmeleitfähigkeit auf.

**[0024]** Die Aluminiummatrix kann im Wesentlichen aus Aluminium bestehen.

**[0025]** Alternativ umfasst die Aluminiummatrix mindestens eine weitere Komponente als Legierungselement(e).

**[0026]** In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst die Aluminiummatrix als weitere Komponente mindestens eine Komponente ausgewählt aus der Gruppe umfassend Silicium (Si), Scandium (Sc), Kupfer (Cu), Magnesium (Mg), Nickel (Ni), Eisen (Fe), Vanadium (V), Titan (Ti), Zirkon (Zr), Ytterbium (Y), Mangan (Mn), Hafnium (Hf), Niob (Nb), Tantal (Ta), Lanthan (La) oder Mischungen hiervon.

**[0027]** Beispielsweise umfasst die Aluminiummatrix als weitere Komponente eine Komponente ausgewählt aus der Gruppe umfassend Silicium (Si), Scandium (Sc), Kupfer (Cu), Magnesium (Mg), Nickel (Ni), Eisen (Fe), Vanadium (V), Titan (Ti), Zirkon (Zr), Ytterbium (Y), Mangan (Mn), Hafnium (Hf), Niob (Nb), Tantal (Ta) oder Lanthan (La).

**[0028]** Alternativ umfasst die Aluminiummatrix als weitere Komponente mindestens zwei Komponenten, beispielsweise zwei Komponenten, ausgewählt aus der Gruppe umfassend Silicium (Si), Scandium (Sc), Kupfer (Cu), Magnesium (Mg), Nickel (Ni), Eisen (Fe), Vanadium (V), Titan (Ti), Zirkon (Zr), Ytterbium (Y), Mangan (Mn), Hafnium (Hf), Niob (Nb), Tantal (Ta) oder Lanthan (La).

**[0029]** Alternativ umfasst die Aluminiummatrix als weitere Komponente mindestens drei Komponenten, beispielsweise drei oder vier Komponenten, ausgewählt aus der Gruppe umfassend Silicium (Si), Scandium (Sc), Kupfer (Cu), Magnesium (Mg), Nickel (Ni), Eisen (Fe), Vanadium (V), Titan (Ti), Zirkon (Zr), Ytterbium (Y), Mangan (Mn), Hafnium (Hf), Niob (Nb), Tantal (Ta) oder Lanthan (La).

**[0030]** In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst die Aluminiummatrix als weitere Komponente mindestens eine Komponente, beispielsweise eine, zwei oder drei oder vier Komponenten, ausgewählt aus der Gruppe umfassend Silicium (Si), Scandium (Sc), Kupfer (Cu), Magnesium (Mg), Nickel (Ni), Zirkon (Zr) und Eisen (Fe). Vorzugsweise umfasst die Aluminiummatrix als weitere Komponente drei oder vier Komponenten ausgewählt aus der Gruppe umfassend Silicium (Si), Scandium (Sc), Kupfer (Cu), Magnesium (Mg), Nickel (Ni), Zirkon (Zr) und Eisen (Fe).

**[0031]** Umfasst die Aluminiummatrix eine weitere Komponente als Legierungselement, umfasst die Aluminiummatrix beispielsweise Scandium (Sc) oder Kupfer (Cu).

**[0032]** Umfasst die Aluminiummatrix zwei weitere Komponenten als Legierungselemente, umfasst die Aluminiummatrix beispielsweise Scandium (Sc) und Kupfer (Cu). Alternativ kann die Aluminiummatrix beispielsweise Silicium (Si) und Magnesium (Mg) umfassen, wenn die Aluminiummatrix zwei weitere Komponenten als Legierungselemente umfasst.

**[0033]** In einer Ausführungsform umfasst die Aluminiummatrix beispielsweise Scandium (Sc) und Zirkon (Zr), wenn die Aluminiummatrix zwei weitere Komponenten als Legierungselemente umfasst.

**[0034]** Die Aluminiummatrix umfasst Aluminium (Al) und die mindestens eine Komponente, beispielsweise eine, zwei oder drei oder vier Komponenten, die ausgewählt ist aus der Gruppe umfassend Silicium (Si), Scandium (Sc), Kupfer (Cu), Magnesium (Mg), Nickel (Ni), Eisen (Fe), Vanadium (V), Titan (Ti), Zirkon (Zr), Ytterbium (Y), Mangan (Mn), Hafnium (Hf), Niob (Nb), Tantal (Ta), Lanthan (La) oder Mischungen hiervon, vorzugsweise in einer Menge von insgesamt mindestens 90.0 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiummatrix. Beispielsweise umfasst die Aluminiummatrix Aluminium (Al) und die mindestens eine Komponente, beispielsweise eine, zwei oder drei oder vier Komponenten, die ausgewählt ist aus der Gruppe umfassend Silicium (Si), Scandium (Sc), Kupfer (Cu), Magnesium (Mg), Nickel (Ni), Eisen (Fe), Vanadium (V), Titan (Ti), Zirkon (Zr), Ytterbium (Y), Mangan (Mn), Hafnium (Hf), Niob (Nb), Tantal (Ta), Lanthan (La) oder Mischungen hiervon, vorzugsweise in einer Menge von insgesamt mindestens 92.0 Gew.-%, bevorzugt von insgesamt mindestens 95.0 Gew.-% und am meisten bevorzugt von insgesamt mindestens 96.0 Gew.-% bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiummatrix. In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst die Aluminiummatrix Aluminium (Al) und die mindestens eine Komponente, beispielsweise eine, zwei oder drei oder vier Komponenten, die ausgewählt ist aus der Gruppe umfassend Silicium (Si), Scandium (Sc), Kupfer (Cu), Magnesium (Mg), Nickel (Ni), Eisen (Fe), Vanadium (V), Titan (Ti), Zirkon (Zr), Ytterbium (Y), Mangan (Mn), Hafnium (Hf), Niob (Nb), Tantal (Ta), Lanthan (La) oder Mischungen hiervon, vorzugsweise in einer Menge von insgesamt mindestens 97.0 Gew.-%, bevorzugt von insgesamt mindestens 98.0 Gew.-%, weiter bevorzugt von insgesamt mindestens 99.0 Gew.-% und am meisten bevorzugt von insgesamt mindestens 99.5 Gew.-% bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiummatrix.

**[0035]** In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst die Aluminiummatrix Aluminium (Al) und die mindestens eine Komponente, beispielsweise eine, zwei oder drei oder vier Komponenten, die ausgewählt ist aus der Gruppe umfassend Silicium (Si), Scandium (Sc), Kupfer (Cu), Magnesium (Mg), Nickel (Ni), Eisen

(Fe), Vanadium (V), Titan (Ti), Zirkon (Zr), Ytterbium (Y), Mangan (Mn), Hafnium (Hf), Niob (Nb), Tantal (Ta), Lanthan (La) oder Mischungen hiervon, vorzugsweise insgesamt in einer Menge von 98.0 bis 100.0 Gew.-% oder insgesamt in einer Menge von 98.0 bis 99.99 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiummatrix. Beispielsweise umfasst die Aluminiummatrix Aluminium (Al) und die mindestens eine Komponente, beispielsweise eine, zwei oder drei oder vier Komponenten, die ausgewählt ist aus der Gruppe umfassend Silicium (Si), Scandium (Sc), Kupfer (Cu), Magnesium (Mg), Nickel (Ni), Eisen (Fe), Vanadium (V), Titan (Ti), Zirkon (Zr), Ytterbium (Y), Mangan (Mn), Hafnium (Hf), Niob (Nb), Tantal (Ta), Lanthan (La) oder Mischungen hiervon, vorzugsweise insgesamt in einer Menge von 98.0 bis 99.95 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiummatrix. In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst die Aluminiummatrix Aluminium (Al) und die mindestens eine Komponente, beispielsweise eine, zwei oder drei oder vier Komponenten, die ausgewählt ist aus der Gruppe umfassend Silicium (Si), Scandium (Sc), Kupfer (Cu), Magnesium (Mg), Nickel (Ni), Eisen (Fe), Vanadium (V), Titan (Ti), Zirkon (Zr), Ytterbium (Y), Mangan (Mn), Hafnium (Hf), Niob (Nb), Tantal (Ta), Lanthan (La) oder Mischungen hiervon, vorzugsweise insgesamt in einer Menge von 99.0 bis 99.95 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiummatrix. Alternativ umfasst die Aluminiummatrix Aluminium (Al) und die mindestens eine Komponente, beispielsweise eine, zwei oder drei oder vier Komponenten, die ausgewählt ist aus der Gruppe umfassend Silicium (Si), Scandium (Sc), Kupfer (Cu), Magnesium (Mg), Nickel (Ni), Eisen (Fe), Vanadium (V), Titan (Ti), Zirkon (Zr), Ytterbium (Y), Mangan (Mn), Hafnium (Hf), Niob (Nb), Tantal (Ta), Lanthan (La) oder Mischungen hiervon, vorzugsweise insgesamt in einer Menge von 99.5 bis 99.95 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiummatrix.

**[0036]** Die Aluminiummatrix kann einen die 100.0 Gew.-% ausgleichenden Anteil an Verunreinigungen aufweisen.

**[0037]** In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst die Aluminiummatrix die mindestens eine Komponente, die ausgewählt ist aus der Gruppe umfassend Silicium (Si), Scandium (Sc), Kupfer (Cu), Magnesium (Mg), Nickel (Ni), Eisen (Fe), Vanadium (V), Titan (Ti), Zirkon (Zr), Ytterbium (Y), Mangan (Mn), Hafnium (Hf), Niob (Nb), Tantal (Ta), Lanthan (La) oder Mischungen hiervon, in einer Menge von 0.1 bis 35.0 Gew.-% pro Element, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiummatrix. Beispielsweise umfasst die Aluminiummatrix die mindestens eine Komponente, die ausgewählt ist aus der Gruppe umfassend Silicium (Si), Scandium (Sc), Kupfer (Cu), Magnesium (Mg), Nickel (Ni), Eisen (Fe), Vanadium (V), Titan (Ti), Zirkon (Zr), Ytterbium (Y), Mangan (Mn), Hafnium (Hf), Niob (Nb), Tantal (Ta), Lanthan (La) oder Mischungen hiervon, in einer Menge von 0.1 bis 27.0 Gew.-% pro Element, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiummatrix.

**[0038]** Tantal (Ta), Lanthan (La) oder Mischungen hiervon, in einer Menge von 0.1 bis 27.0 Gew.-% pro Element, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiummatrix.

ummatrix.

**[0039]** Zusätzlich oder alternativ umfasst die Aluminiummatrix die mindestens eine Komponente, beispielsweise zwei oder drei oder vier Komponenten, die ausgewählt ist aus der Gruppe umfassend Silicium (Si), Scandium (Sc), Kupfer (Cu), Magnesium (Mg), Nickel (Ni), Eisen (Fe), Vanadium (V), Titan (Ti), Zirkon (Zr), Ytterbium (Y), Mangan (Mn), Hafnium (Hf), Niob (Nb), Tantal (Ta), Lanthan (La) oder Mischungen hiervon, in einer Menge von 0.5 bis 40.0 Gew.-% in Summe, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiummatrix. Beispielsweise umfasst die Aluminiummatrix die mindestens eine Komponente, beispielsweise zwei oder drei oder vier Komponenten, die ausgewählt ist aus der Gruppe umfassend Silicium (Si), Scandium (Sc), Kupfer (Cu), Magnesium (Mg), Nickel (Ni), Eisen (Fe), Vanadium (V), Titan (Ti), Zirkon (Zr), Ytterbium (Y), Mangan (Mn), Hafnium (Hf), Niob (Nb), Tantal (Ta), Lanthan (La) oder Mischungen hiervon, in einer Menge von 1.0 bis 30.0 Gew.-% in Summe, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiummatrix.

**[0040]** In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst die Aluminiummatrix Aluminium (Al) in einer Menge von 60.0 bis 99.95 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiummatrix. Beispielsweise umfasst die Aluminiummatrix Aluminium (Al) in einer Menge von 70.0 bis 99.0 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiummatrix.

**[0041]** Um einen Metallmatrix-Verbundwerkstoff mit hoher Festigkeit zu erhalten, ist es vorteilhaft, dass die Aluminiummatrix mindestens eine weitere Komponente, beispielsweise zwei oder drei oder vier Komponenten, ausgewählt aus der Gruppe umfassend Silicium (Si), Scandium (Sc), Kupfer (Cu), Magnesium (Mg), Nickel (Ni), Zirkon (Zr) und Eisen (Fe) in einer bestimmten Menge umfasst. Beispielsweise umfasst die Aluminiummatrix die mindestens eine weitere Komponente, beispielsweise zwei oder drei oder vier Komponenten, die ausgewählt ist aus der Gruppe umfassend Silicium (Si), Kupfer (Cu), Magnesium (Mg), Nickel (Ni), Zirkon (Zr) und Eisen (Fe) in einer Menge von 0.5 bis 40.0 Gew.-% in Summe, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiummatrix. In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst die Aluminiummatrix die mindestens eine weitere Komponente, beispielsweise zwei oder drei oder vier Komponenten, die ausgewählt ist aus der Gruppe umfassend Silicium (Si), Scandium (Sc), Kupfer (Cu), Magnesium (Mg), Nickel (Ni), Zirkon (Zr) und Eisen (Fe) in einer Menge von 1.0 bis 30.0 Gew.-% in Summe, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiummatrix.

**[0042]** Beispielsweise umfasst die Aluminiummatrix Silicium (Si) in einer Menge von mehr als 8.0 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiummatrix. In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst die Aluminiummatrix Silicium (Si) in einer Menge von 8.0 bis 30.0 Gew.-%, bevorzugt in einer Menge von 10.0 bis 30.0 Gew.-%, weiter bevorzugt in einer Menge von 10.0 bis 27.0 Gew.-% und am meisten bevorzugt in

einer Menge von 11.0 bis 26.0 Gew.-% bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiummatrix. Die Zumischung von Silicium (Si) hat insbesondere den Vorteil, dass es zur Verbesserung der Wärmeleitfähigkeit beiträgt.

**[0043]** Zusätzlich oder alternativ umfasst die Aluminiummatrix Scandium (Sc) in einer Menge von 0.1 bis 1.0 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiummatrix. Beispielsweise umfasst die Aluminiummatrix Scandium (Sc) in einer Menge von 0.1 bis 0.8 Gew.-% und bevorzugt in einer Menge von 0.1 bis 0.6 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiummatrix. Die Zumischung von Scandium (Sc) hat insbesondere den Vorteil, dass es zur Verbesserung sowohl der Raumtemperaturfestigkeit als auch der Festigkeit bei höheren Temperaturen (Warmfestigkeit) beiträgt. Darüber hinaus verbessert Scandium (Sc) die Kriechfestigkeit der Aluminiummatrix und somit auch des Metallmatrix-Verbundwerkstoffes. Zusätzlich kann die Wärmeleitfähigkeit verbessert werden.

**[0044]** Zusätzlich oder alternativ umfasst die Aluminiummatrix Kupfer (Cu) in einer Menge von 0.5 bis 5.0 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiummatrix. Beispielsweise umfasst die Aluminiummatrix Kupfer (Cu) in einer Menge von 0.8 bis 5.0 Gew.-% und bevorzugt in einer Menge von 1.0 bis 2.5 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiummatrix. Die Zumischung von Kupfer (Cu) hat insbesondere den Vorteil, dass es zur Verbesserung sowohl der Raumtemperaturfestigkeit als auch der Festigkeit bei höheren Temperaturen (Warmfestigkeit) beiträgt. Zusätzlich kann die Wärmeleitfähigkeit verbessert werden.

**[0045]** Zusätzlich oder alternativ umfasst die Aluminiummatrix Zirkon (Zr) in einer Menge von 0.1 bis 5.0 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiummatrix. Beispielsweise umfasst die Aluminiummatrix Zirkon (Zr) in einer Menge von 0.2 bis 3.0 Gew.-% und bevorzugt in einer Menge von 0.3 bis 2.0 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiummatrix. Die Zumischung von Zirkon (Zr) hat insbesondere den Vorteil, dass es zur Verbesserung sowohl der Raumtemperaturfestigkeit als auch der Festigkeit bei höheren Temperaturen (Warmfestigkeit) beiträgt. Zusätzlich kann die Wärmeleitfähigkeit verbessert werden.

**[0046]** In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst die Aluminiummatrix, Magnesium (Mg) in einer Menge von 0.5 bis 2.5 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiummatrix. Beispielsweise umfasst die Aluminiummatrix Magnesium (Mg) in einer Menge von 0.5 bis 2.0 Gew.-% und bevorzugt in einer Menge von 0.8 bis 1.5 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiummatrix. Die Zumischung von Magnesium (Mg) hat insbesondere den Vorteil, dass die spezifische Dichte verringert wird.

**[0047]** Zusätzlich oder alternativ umfasst die Aluminiummatrix Nickel (Ni) in einer Menge von 0.5 bis 4.0 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiummatrix. Beispielsweise umfasst die Aluminiummatrix Nickel (Ni) in einer Menge von 0.5 bis 3.0 Gew.-% und bevorzugt

in einer Menge von 0.8 bis 2.5 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiummatrix. Die Zulegierung von Nickel (Ni) hat insbesondere den Vorteil, dass die thermische Stabilität und Festigkeit verbessert wird.

**[0048]** In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst die Aluminiummatrix Eisen (Fe) in einer Menge von 1.0 bis 8.0 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiummatrix. Beispielsweise umfasst die Aluminiummatrix Eisen (Fe) in einer Menge von 2.0 bis 7.0 Gew.-% und bevorzugt in einer Menge von 4.0 bis 6.0 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiummatrix. Die Zulegierung von Eisen (Fe) hat insbesondere den Vorteil, dass die thermische Stabilität und Festigkeit verbessert wird.

**[0049]** In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst der Metallmatrix-Verbundwerkstoff eine Matrix umfassend, vorzugsweise bestehend aus, Aluminium (Al), Scandium (Sc) und Kupfer (Cu) als Matrixkomponenten. Noch bevorzugter umfasst der Metallmatrix-Verbundwerkstoff eine Matrix umfassend, vorzugsweise bestehend aus, Scandium (Sc) in einer Menge von 0.1 bis 0.5 Gew.-%, beispielsweise von 0.1 bis 0.3 Gew.-%, Kupfer (Cu) in einer Menge von 1.0 bis 2.5 Gew.-%, beispielsweise von 1.5 bis 2.2 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiummatrix, und einen die 100.0 Gew.-% ausgleichenden Anteil an Aluminium. Beispielsweise umfasst der Metallmatrix-Verbundwerkstoff eine Matrix umfassend, vorzugsweise bestehend aus, Scandium (Sc) in einer Menge von 0.1 bis 0.5 Gew.-%, beispielsweise von 0.1 bis 0.3 Gew.-%, Kupfer (Cu) in einer Menge von 1.0 bis 2.5 Gew.-%, beispielsweise von 1.5 bis 2.2 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiummatrix, und einen die 100.0 Gew.-% ausgleichenden Anteil an Aluminium mit Verunreinigungsspuren.

**[0050]** In einer alternativen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst der Metallmatrix-Verbundwerkstoff eine Matrix umfassend, vorzugsweise bestehend aus, Aluminium (Al), Magnesium (Mg) und Silicium (Si) als Matrixkomponenten. Noch bevorzugter umfasst der Metallmatrix-Verbundwerkstoff eine Matrix umfassend, vorzugsweise bestehend aus, Magnesium (Mg) in einer Menge von 0.5 bis 2.0 Gew.-%, beispielsweise von 0.8 bis 1.5 Gew.-%, Silicium (Si) in einer Menge von 10.0 bis 27.0 Gew.-%, beispielsweise von 11.0 bis 26.0 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiummatrix, und einen die 100.0 Gew.-% ausgleichenden Anteil an Aluminium. Beispielsweise umfasst der Metallmatrix-Verbundwerkstoff eine Matrix umfassend, vorzugsweise bestehend aus, Magnesium (Mg) in einer Menge von 0.5 bis 2.0 Gew.-%, beispielsweise von 0.8 bis 1.5 Gew.-%, Silicium (Si) in einer Menge von 10.0 bis 27.0 Gew.-%, beispielsweise von 11.0 bis 26.0 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiummatrix, und einen die 100.0 Gew.-% ausgleichenden Anteil an Aluminium mit Verunreinigungsspuren.

**[0051]** Alternativ umfasst der Metallmatrix-Verbundwerkstoff eine Matrix umfassend, vorzugsweise beste-

hend aus, Aluminium (Al) und Scandium (Sc) als Matrixkomponenten. Noch bevorzugter umfasst der Metallmatrix-Verbundwerkstoff eine Matrix umfassend, vorzugsweise bestehend aus, Scandium (Sc) in einer Menge von 0.1 bis 1.0 Gew.-%, beispielsweise von 0.1 bis 0.8 Gew.-% oder von 0.1 bis 0.6 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiummatrix, und einen die 100.0 Gew.-% ausgleichenden Anteil an Aluminium. Beispielsweise umfasst der Metallmatrix-Verbundwerkstoff eine Matrix umfassend, vorzugsweise bestehend aus, Scandium (Sc) in einer Menge von 0.1 bis 1.0 Gew.-%, beispielsweise von 0.1 bis 0.8 Gew.-% oder von 0.1 bis 0.6 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiummatrix, und einen die 100.0 Gew.-% ausgleichenden Anteil an Aluminium mit Verunreinigungsspuren.

**[0052]** In einer alternativen Ausführungsform umfasst der Metallmatrix-Verbundwerkstoff eine Matrix umfassend, vorzugsweise bestehend aus, Aluminium (Al), Scandium (Sc) und Zirkon (Zr) als Matrixkomponenten. Noch bevorzugter umfasst der Metallmatrix-Verbundwerkstoff eine Matrix umfassend, vorzugsweise bestehend aus, Scandium (Sc) in einer Menge von 0.1 bis 1.0 Gew.-%, beispielsweise von 0.1 bis 0.8 Gew.-% oder von 0.1 bis 0.6 Gew.-%, und Zirkon (Zr) in einer Menge von 0.1 bis 5.0 Gew.-%, beispielsweise von 0.2 bis 3.0 Gew.-% oder von 0.3 bis 2.0 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiummatrix, und einen die 100.0 Gew.-% ausgleichenden Anteil an Aluminium. Beispielsweise umfasst der Metallmatrix-Verbundwerkstoff eine Matrix umfassend, vorzugsweise bestehend aus, Scandium (Sc) in einer Menge von 0.1 bis 1.0 Gew.-%, beispielsweise von 0.1 bis 0.8 Gew.-% oder von 0.1 bis 0.6 Gew.-%, und Zirkon (Zr) in einer Menge von 0.1 bis 5.0 Gew.-%, beispielsweise von 0.2 bis 3.0 Gew.-% oder von 0.3 bis 2.0 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiummatrix, und einen die 100.0 Gew.-% ausgleichenden Anteil an Aluminium mit Verunreinigungsspuren.

**[0053]** In einer alternativen Ausführungsform umfasst der Metallmatrix-Verbundwerkstoff eine Matrix umfassend, vorzugsweise bestehend aus, Aluminium (Al) und Kupfer (Cu) als Matrixkomponenten. Noch bevorzugter umfasst der Metallmatrix-Verbundwerkstoff eine Matrix umfassend, vorzugsweise bestehend aus, Kupfer (Cu) in einer Menge von 0.5 bis 5.0 Gew.-%, beispielsweise von 0.8 bis 5.0 Gew.-% oder von 1.0 bis 2.5 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiummatrix, und einen die 100.0 Gew.-% ausgleichenden Anteil an Aluminium. Beispielsweise umfasst der Metallmatrix-Verbundwerkstoff eine Matrix umfassend, vorzugsweise bestehend aus, Kupfer (Cu) in einer Menge von 0.5 bis 5.0 Gew.-%, beispielsweise von 0.8 bis 5.0 Gew.-% oder von 1.0 bis 2.5 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiummatrix, und einen die 100.0 Gew.-% ausgleichenden Anteil an Aluminium mit Verunreinigungsspuren.

**[0054]** In einer weiteren Ausführungsform umfasst der Metallmatrix-Verbundwerkstoff eine Matrix umfassend,

vorzugsweise bestehend aus, Aluminium (Al) und mindestens einer weiteren Komponente ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Magnesium (Mg), Kupfer (Cu), Silicium (Si), Zirkon (Zr) und Nickel (Ni).

**[0055]** Der Metallmatrix-Verbundwerkstoff umfasst die Aluminiummatrix vorzugsweise in einer Menge von 40 bis 88 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht des Metallmatrix-Verbundwerkstoffes. Beispielsweise umfasst die Aluminiummatrix vorzugsweise in einer Menge von 70 bis 88 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht des Metallmatrix-Verbundwerkstoffes.

**[0056]** Ein weiteres Erfordernis der vorliegenden Erfindung ist insbesondere, dass Partikel umfassend ein Metallborid in der Aluminiummatrix verteilt sind.

**[0057]** Dabei ist weiter erforderlich, dass der Metallmatrix-Verbundwerkstoff das Metallborid in einer bestimmten Menge umfasst um eine hohe Menge an Bor und damit eine hohe Menge an "Neutronen-Fänger" in dem Werkstoff zu gewährleisten. Dabei ist die Menge an Bor insbesondere höher als die Menge, die üblicherweise mit Borcarbid ( $B_4C$ ) in entsprechenden Werkstoffen erzielt wird.

**[0058]** Ein Erfordernis der vorliegenden Erfindung ist daher, dass der Metallmatrix-Verbundwerkstoff das Metall-Kation in einer Menge von 2 bis 20 Gew.-%, und Borid in einer Menge von 10 bis 40 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht des Metallmatrix-Verbundwerkstoffes, umfasst.

**[0059]** In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst der Metallmatrix-Verbundwerkstoff das Metall-Kation in einer Menge von 2 bis 10 Gew.-%, und Borid in einer Menge von 10 bis 20 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht des Metallmatrix-Verbundwerkstoffes.

**[0060]** Die in der Aluminiummatrix verteilten Partikel umfassend ein Metallborid stellen vorzugsweise Nanopartikel dar.

**[0061]** Unter "Nanopartikel" sind gemäß der vorliegenden Erfindung Partikel mit Teilchengrößen im Nanometer- bis in den unteren Mikrometerbereich zu verstehen. In einer Ausführungsform umfassen die in der Aluminiummatrix verteilten Partikel umfassend ein Metallborid Partikel mit einem Durchmesser in einem Bereich von 10 bis 100 000 nm. Beispielsweise umfassen die in der Aluminiummatrix verteilten Partikel umfassend ein Metallborid Partikel mit einem Durchmesser in einem Bereich von 15 bis 10 000 nm, weiter bevorzugt von 20 bis 5 000 nm und am meisten bevorzugt von 25 bis 1 000 nm aufweisen. Die Verwendung von Nanopartikeln hat den Vorteil, dass dies zu einer homogenen Verteilung der Partikel in der Aluminiummatrix beiträgt.

**[0062]** Beispielsweise sind die in der Aluminiummatrix verteilten Partikel umfassend ein Metallborid sphärisch, nicht-sphärisch oder Mischungen hiervon.

**[0063]** Vorzugsweise stellen die in der Aluminiummatrix verteilten Partikel umfassend ein Metallborid eine Mischung aus sphärischen und nicht-sphärischen Partikeln dar.

**[0064]** Ein sphärischer Partikel hat ein Aspektverhältnis von 1.0 bis 1.1. Nicht-sphärische Partikel liegen bei einem Aspektverhältnis vor, der sich von sphärischen Partikeln unterscheidet, d.h. das Aspektverhältnis der nicht-sphärischen Partikel ist nicht von 1.0 bis 1.1. Liegen die Partikel umfassend ein Metallborid als nicht-sphärische Partikel vor, bezieht sich der Durchmesser der Partikel vorzugsweise auf die kürzere Dimension.

**[0065]** Für den Metallmatrix-Verbundwerkstoff ist es besonders vorteilhaft, wenn die Partikel umfassend ein Metallborid homogen in der Aluminiummatrix verteilt sind. Eine homogene Verteilung hat insbesondere den Vorteil, dass das Metallborid die Aluminiummatrix gleichmäßig verstärkt und verfestigt.

**[0066]** Alternativ können die Partikel umfassend ein Metallborid inhomogen in der Aluminiummatrix verteilt sein.

**[0067]** In einer Ausführungsform umfasst der Metallmatrix-Verbundwerkstoff die in der Aluminiummatrix verteilten Partikel umfassend ein Metallborid in einer Menge von 12 bis 60 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht des Metallmatrix-Verbundwerkstoffes. Beispielsweise umfasst der Metallmatrix-Verbundwerkstoff die in der Aluminiummatrix verteilten Partikel umfassend ein Metallborid in einer Menge von 12 bis 30 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht des Metallmatrix-Verbundwerkstoffes.

**[0068]** Dabei umfassen die in der Aluminiummatrix verteilten Partikel umfassend ein Metallborid vorzugsweise ein Metallborid vom  $MB_6$ -Typ, wobei M ein Metall-Kation bezeichnet. Beispielsweise kann M ein Metall-Kation ausgewählt aus der Gruppe umfassend Calcium-Kation und/oder Lanthan-Kation sein. Die Verwendung eines Metallborids vom  $MB_6$ -Typ hat den Vorteil, dass der Metallmatrix-Verbundwerkstoff Bor in einer hohen Menge umfasst, insbesondere in einer Menge die höher ist als die Menge die üblicherweise mit Borcarbid ( $B_4C$ ) in entsprechenden Werkstoffen erzielt wird.

**[0069]** In einer Ausführungsform umfassen die in der Aluminiummatrix verteilten Partikel daher Calcium-Hexaborid ( $CaB_6$ ) und/oder Lanthan-Hexaborid ( $LaB_6$ ).

**[0070]** Beispielsweise umfassen die in der Aluminiummatrix verteilten Partikel daher Calcium-Hexaborid ( $CaB_6$ ) und Lanthan-Hexaborid ( $LaB_6$ ). Alternativ umfassen die in der Aluminiummatrix verteilten Partikel daher Calcium-Hexaborid ( $CaB_6$ ) oder Lanthan-Hexaborid ( $LaB_6$ ).

**[0071]** Vorzugsweise umfassen die in der Aluminiummatrix verteilten Partikel daher Calcium-Hexaborid ( $CaB_6$ ).

**[0072]** In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weisen die in der Aluminiummatrix verteilten Partikel ein Gewichtsverhältnis der Isotopen  $^{11}B$  zu  $^{10}B$  [ $^{11}B/^{10}B$ ] von 5:1 bis 3:1 auf. Beispielsweise weisen die in der Aluminiummatrix verteilten Partikel ein Gewichtsverhältnis der Isotopen  $^{11}B$  zu  $^{10}B$  [ $^{11}B/^{10}B$ ] von etwa 4:1 auf.

**[0073]** Der Metallmatrix-Verbundwerkstoff weist ins-

besondere eine hohe Warmfestigkeit und Wärmeleitfähigkeit auf.

**[0074]** In einer Ausführungsform weist der Metallmatrix-Verbundwerkstoff

- a) eine Wärmeleitfähigkeit von mindestens 160  $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , bestimmt gemäß ISO 25239-1:2011, und/oder
- b) eine Festigkeit von mindestens 117  $\text{N/mm}^2$  bei einer Temperatur von 375 °C, bestimmt gemäß ISO 527-2, auf.

**[0075]** Vorzugsweise weist der Metallmatrix-Verbundwerkstoff

- a) eine Wärmeleitfähigkeit von 160 bis 250  $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , vorzugsweise von 160 bis 200  $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , bestimmt gemäß ISO 25239-1:2011, und/oder
- b) eine Festigkeit von 117 bis 200  $\text{N/mm}^2$ , vorzugsweise von 117 bis 150  $\text{N/mm}^2$ , bei einer Temperatur von 375 °C, bestimmt gemäß ISO 527-2, auf.

**[0076]** Beispielsweise weist der Metallmatrix-Verbundwerkstoff

- a) eine Wärmeleitfähigkeit von 160 bis 250  $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , vorzugsweise von 160 bis 200  $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , bestimmt gemäß ISO 25239-1:2011, oder
- b) eine Festigkeit von 117 bis 200  $\text{N/mm}^2$ , vorzugsweise von 117 bis 150  $\text{N/mm}^2$ , bei einer Temperatur von 375 °C, bestimmt gemäß ISO 527-2, auf.

**[0077]** In einer alternativen Ausführungsform weist der Metallmatrix-Verbundwerkstoff

- a) eine Wärmeleitfähigkeit von 160 bis 250  $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , vorzugsweise von 160 bis 200  $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , bestimmt gemäß ISO 25239-1:2011, und
- b) eine Festigkeit von 117 bis 200  $\text{N/mm}^2$ , vorzugsweise von 117 bis 150  $\text{N/mm}^2$ , bei einer Temperatur von 375 °C, bestimmt gemäß ISO 527-2, auf.

**[0078]** Darüber hinaus weist der Metallmatrix-Verbundwerkstoff die hohe Warmfestigkeit und Wärmeleitfähigkeit über einen Zeitraum von mehr als 40 Jahren, noch bevorzugter mehr als 50 Jahren auf und hat somit auch eine ausreichende Langzeitbeständigkeit.

**[0079]** Die vorliegende Erfindung betrifft auch ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Metallmatrix-Verbundwerkstoffes. Der Metallmatrix-Verbundwerkstoff wird vorzugsweise durch ein Verfahren, wie nachfolgend beschrieben, hergestellt.

**[0080]** Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung des Metallmatrix-Verbundwerkstoffes, wie vorstehend beschrieben, umfasst mindestens die Schritte:

- a) Bereitstellen einer Aluminium-Vorlegierung umfassend ein Metall, das geeignet ist ein Metallborid

zu bilden, wie hierin definiert,

b) Bereitstellen einer Aluminium-Vorlegierung umfassend Bor,

c) Schmelzen der Aluminium-Vorlegierungen aus Schritt a) und b),

d) Inkontaktbringen der Aluminiumschmelzen aus Schritt c) bei einer Temperatur von mindestens 900 °C zur Herstellung des Metallmatrix-Verbundwerkstoffes.

**[0081]** Das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich zur kostengünstigen und einfachen Herstellung des oben- genannten Metallmatrix-Verbundwerkstoffes.

**[0082]** Gemäß Schritt a) ist somit ein Erfordernis des erfindungsgemäßen Verfahrens, dass eine Aluminium-Vorlegierung umfassend ein Metall, das geeignet ist ein Metallborid zu bilden, bereitgestellt wird. Das Bereitstellen einer Aluminium-Vorlegierung hat den Vorteil, dass das Metall homogen in der Aluminiummatrix verteilt werden kann und so eine ausreichende Reaktion mit Bor zum Metallborid gewährleistet werden kann. Ferner bietet die Bereitstellung einer Aluminium-Vorlegierung den Vorteil, dass eine einfache Handhabung gewährleistet ist.

**[0083]** Aluminium-Vorlegierungen umfassend ein Metall, das geeignet ist ein Metallborid zu bilden, sind bekannt und beispielsweise kommerziell erhältlich von KBM Affilips B.V., The Netherlands.

**[0084]** In einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird eine Aluminium-Vorlegierung umfassend ein Metall bereitgestellt, das geeignet ist ein Metallborid vom  $\text{MB}_6$ -Typ zu bilden, wobei M ein Metall-Kation bezeichnet.

**[0085]** Beispielsweise wird eine Aluminium-Vorlegierung umfassend ein Metall ausgewählt aus Calcium und/oder Lanthan bereitgestellt.

**[0086]** In einer Ausführungsform wird eine Aluminium-Vorlegierung umfassend ein Metall ausgewählt aus Calcium und Lanthan bereitgestellt. Alternativ wird eine Aluminium-Vorlegierung umfassend ein Metall ausgewählt aus Calcium oder Lanthan bereitgestellt. Vorzugsweise umfasst die Aluminium-Vorlegierung Calcium.

**[0087]** Üblicherweise umfasst die Aluminium-Vorlegierung das Metall, das geeignet ist ein Metallborid zu bilden, in einer Menge von 5 bis 50 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminium-Vorlegierung.

**[0088]** Bzgl. des Metallborids und des Metalls wird auf die obigen Definitionen mit Bezug auf das Metallborid und deren Ausführungsformen verwiesen.

**[0089]** Die Herstellung der Aluminium-Vorlegierung erfolgt nach den im Stand der Technik bekannten Verfahren. Beispielsweise erfolgt das Zumischen von des Metalls zu dem Aluminium in der Schmelze. Mit Hilfe dieses Schrittes kann das Metallhomogen in dem Aluminium verteilt werden um den Metallmatrix-Verbundwerkstoff zu erhalten.

**[0090]** Typischerweise wird die Aluminium-Vorlegierung umfassend ein Metall, das geeignet ist ein Metallborid zu bilden, in Massel- oder Drahtform bereitgestellt.



**[0091]** Ein weiteres Erfordernis des erfindungsgemäßen Verfahrens ist, dass gemäß Schritt b) eine Aluminium-Vorlegierung umfassend Bor bereitgestellt wird.

**[0092]** Aluminium-Vorlegierungen umfassend Bor sind im Stand der Technik bekannt.

**[0093]** Üblicherweise umfasst die Aluminium-Vorlegierung Bor in einer Menge von 5 bis 50 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminium-Vorlegierung. Die Herstellung der Aluminium-Vorlegierung erfolgt nach den im Stand der Technik bekannten Verfahren. Beispielsweise erfolgt das Zumischen von Bor zu dem Aluminium in der Schmelze. Mit Hilfe dieses Schrittes kann Bor homogen in dem Aluminium verteilt werden um den Metallmatrix-Verbundwerkstoff zu erhalten.

**[0094]** Typischerweise wird die Aluminium-Vorlegierung umfassend Bor in Massel- oder Drahtform bereitgestellt.

**[0095]** Gemäß Schritt c) ist ein weiteres Erfordernis des erfindungsgemäßen Verfahrens, dass die Aluminium-Vorlegierungen aus Schritt a) und b) geschmolzen werden. Die Herstellung der Schmelzen kann durch eine Vielzahl unterschiedlicher Wärmequellen erfolgen, die aus dem Stand der Technik bekannt sind. Üblicherweise erfolgt die Herstellung der Schmelzen in Schritt c) in einem Ofen, Brenner oder durch einen Laserstrahl, einen Elektronenstrahl oder einen Lichtbogen. Es kann aber auch eine chemische, exotherme Reaktion verwendet werden, oder die Herstellung der Schmelzen erfolgt kapazitiv, konduktiv oder induktiv. Auch eine beliebige Kombination dieser Wärmequellen ist zur Herstellung der Schmelzen verwendbar.

**[0096]** Vorzugsweise erfolgt das Schmelzen der Aluminium-Vorlegierungen in Schritt c) bei einer Temperatur von mindestens 900 °C, vorzugsweise in einem Temperaturbereich von 900 bis 1 500 °C.

**[0097]** Ein weiteres Erfordernis des erfindungsgemäßen Verfahrens ist, dass gemäß Schritt d) die Aluminiumschmelzen aus Schritt c) bei einer Temperatur von mindestens 900 °C in Kontakt gebracht werden.

**[0098]** Vorzugsweise erfolgt das Inkontaktbringen der Schmelzen in Schritt d) indem die Aluminiumschmelzen vermischt werden. Beispielsweise werden die Aluminiumschmelzen homogen vermischt. Das Vermischen der Aluminiumschmelzen kann nach Verfahren aus dem Stand der Technik erfolgen. Beispielsweise kann die Schmelze der Aluminium-Vorlegierung umfassend ein Metall, das geeignet ist ein Metallborid zu bilden, in die Schmelze der Aluminium-Vorlegierung umfassend Bor gerührt werden, oder umgekehrt.

**[0099]** Das Inkontaktbringen der Schmelzen in Schritt d) erfolgt bei einer Temperatur von mindestens 900 °C. Vorzugsweise erfolgt das Inkontaktbringen der Schmelzen in Schritt d) bei einer Temperatur von 900 bis 1 500 °C. Beispielsweise erfolgt das Inkontaktbringen der Schmelzen in Schritt d) bei einer Temperatur von 900 bis 1 300 °C. Das Inkontaktbringen der Schmelzen in Schritt d) bei einer Temperatur von mindestens 900 °C hat den Vorteil, dass das Metall und Bor direkt in der

Schmelze eine stabile hoch Bor-haltige Phase eines Metallborids bilden, die als partikuläre Phase die Aluminiummatrix verfestigt.

**[0100]** Das Inkontaktbringen der Schmelzen in Schritt d) kann beispielsweise unter Luft, Schutzgas oder im Vakuum erfolgen. Vorzugsweise erfolgt das Inkontaktbringen der Schmelzen in Schritt d) unter Schutzgas.

**[0101]** In einer Ausführungsform erfolgen Schritt c) und Schritt d) bei der gleichen Temperatur.

**[0102]** In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung erfolgt das Inkontaktbringen der Schmelzen in Schritt d) direkt im Anschluss an Schritt c), d.h. das Inkontaktbringen der Schmelzen in Schritt d) wird direkt mit den in Schritt c) erhaltenen Aluminiumschmelzen durchgeführt. Mit anderen Worten, das erfindungsgemäße Verfahren wird ohne einen oder mehrere weitere Verfahrensschritte zwischen den Verfahrensschritten c) und d) durchgeführt.

**[0103]** In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann der in Schritt d) erhaltene Metallmatrix-Verbundwerkstoff einer Abkühlung unterzogen werden.

**[0104]** Beispielsweise erfolgt die Abkühlung des in Schritt d) erhaltenen Metallmatrix-Verbundwerkstoffes auf eine Temperatur unterhalb der in Schritt d) eingesetzten Temperatur.

**[0105]** In einer Ausführungsform erfolgt die Abkühlung des in Schritt d) erhaltenen Metallmatrix-Verbundwerkstoffes in einen festen Zustand ( $T \leq T_{\text{solids}}$ ), beispielsweise auf eine Temperatur von  $\leq 100$  °C, vorzugsweise auf Raumtemperatur, i.e. eine Temperatur von 10 bis 28 °C. Eine Abkühlung auf eine Temperatur von  $\leq 100$  °C erfolgt vorzugsweise, wenn der erhaltene Metallmatrix-Verbundwerkstoff keine weiteren Komponenten als Legierungselement(e) umfasst.

**[0106]** Umfasst der Metallmatrix-Verbundwerkstoff mindestens eine weitere Komponente als Legierungselement(e), wird der in Schritt d) erhaltene Metallmatrix-Verbundwerkstoff vorzugsweise auf eine Temperatur von  $\leq T_{\text{liquidus}}$  der Legierungsschmelze abgekühlt. Die Zulegierung der mindestens einen weiteren Komponente ist jedoch nur in der Schmelze möglich. Der in Schritt d) erhaltene Metallmatrix-Verbundwerkstoff wird daher vorzugsweise auf eine Temperatur zwischen 750 °C und  $T_{\text{liquidus}}$ , noch bevorzugter auf eine Temperatur zwischen 750 °C und 850 °C, abgekühlt.

**[0107]** In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung erfolgt die Abkühlung des in Schritt d) erhaltenen Metallmatrix-Verbundwerkstoffes auf eine Temperatur unterhalb der in Schritt d) eingesetzten Temperatur mit einer Abkühlgeschwindigkeit, die  $\geq 1$  K/sec, und vorzugsweise  $\geq 1$  bis 20 K/sec, beträgt. Solche Verfahren zur Abkühlung von Metallmatrix-Verbundwerkstoffen sind im Stand der Technik bekannt. Beispielsweise kann eine definierte Abkühlung des Metallmatrix-Verbundwerkstoffes mit Hilfe einer Kühlung an bewegter Luft erfolgen.

**[0108]** Umfasst der Metallmatrix-Verbundwerkstoff mindestens eine weitere Komponente als Legierungselement(e), kann diese nach Abkühlung des Metallmatrix-

Verbundwerkstoffes auf eine Temperatur von  $\leq T_{\text{liquidus}}$  in der Schmelze des Metallmatrix-Verbundwerkstoffes verteilt werden. Beispielsweise wird die mindestens eine weitere Komponente homogen in der Schmelze des Metallmatrix-Verbundwerkstoffes verteilt. Das Verteilen der mindestens einen weiteren Komponente in der Schmelze des Metallmatrix-Verbundwerkstoffes kann nach Verfahren aus dem Stand der Technik erfolgen.

**[0109]** Bzgl. der mindestens einen weiteren Komponente und deren Mengen in der Aluminiummatrix wird auf die obigen Definitionen mit Bezug auf die Aluminiummatrix und deren Ausführungsformen verwiesen.

**[0110]** In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann der erhaltene Metallmatrix-Verbundwerkstoff, nach Zulegierung der mindestens einen weiteren Komponente, einer weiteren Abkühlung unterzogen werden.

**[0111]** In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung erfolgt die Abkühlung des Metallmatrix-Verbundwerkstoffes, nach Zulegierung der mindestens einen weiteren Komponente, in einen festen Zustand ( $T \leq T_{\text{solids}}$ ), vorzugsweise auf eine Temperatur von  $\leq 100^\circ\text{C}$ . Beispielsweise erfolgt die Abkühlung des Metallmatrix-Verbundwerkstoffes, nach Zulegierung der mindestens einen weiteren Komponente, auf eine Temperatur von  $\leq 100^\circ\text{C}$  mit einer Abkühlgeschwindigkeit, die  $\geq 10$  K/sec, und vorzugsweise  $\geq 10$  bis  $20$  K/sec, beträgt. Beispielsweise erfolgt die Abkühlung des Metallmatrix-Verbundwerkstoffes auf eine Temperatur von  $\leq 100^\circ\text{C}$  mit einer Abkühlgeschwindigkeit in einem Bereich von  $\geq 20$  K/sec oder in einem Bereich von  $20$  K/sec bis  $1000$  K/sec.

**[0112]** Solche Verfahren zur Abkühlung von Metallmatrix-Verbundwerkstoffen sind im Stand der Technik bekannt. Beispielsweise kann eine definierte Abkühlung des Metallmatrix-Verbundwerkstoffes in einen festen Zustand ( $T \leq T_{\text{solids}}$ ) mit Hilfe einer Kühlung an bewegter Luft oder durch Abschrecken in Wasser erfolgen.

**[0113]** Alternativ erfolgt die Abkühlung des Metallmatrix-Verbundwerkstoffes, nach Zulegierung der mindestens einen weiteren Komponente, in einen festen Zustand ( $T \leq T_{\text{solids}}$ ) an der Luft.

**[0114]** Zusätzlich oder alternativ kann der in Schritt d) erhaltene Metallmatrix-Verbundwerkstoff weiteren Verfahrensschritten unterzogen werden. Beispielsweise kann der in Schritt d) erhaltene Metallmatrix-Verbundwerkstoff in einem weiteren Verfahrensschritt einem Verfahren ausgewählt aus der Gruppe umfassend Schmiedeverfahren, Gussverfahren, Stranggussverfahren, Walzverfahren und Extrusionsverfahren unterzogen werden. Diese Verfahren sind im Stand der Technik bekannt.

**[0115]** Vorzugsweise wird der in Schritt d) erhaltene Metallmatrix-Verbundwerkstoff einem Stranggussverfahren unterzogen.

**[0116]** Umfasst der Metallmatrix-Verbundwerkstoff keine weiteren Komponenten als Legierungskomponenten,

wird der in Schritt d) erhaltene Metallmatrix-Verbundwerkstoff vorzugsweise vor der Abkühlung dem weiteren Verfahrensschritt, vorzugsweise dem Stranggussverfahren, unterzogen.

**[0117]** Umfasst der Metallmatrix-Verbundwerkstoff mindestens eine weitere Komponenten als Legierungselement(e), wird der in Schritt d) erhaltene Metallmatrix-Verbundwerkstoff vorzugsweise nach Zulegierung der mindestens einen weiteren Komponente dem weiteren Verfahrensschritt, beispielsweise dem Stranggussverfahren, unterzogen. Der erhaltene Metallmatrix-Verbundwerkstoff wird vorzugsweise nach Zulegierung der mindestens einen weiteren Komponente und vor dem Abkühlen dem weiteren Verfahrensschritt, beispielsweise dem Stranggussverfahren, unterzogen.

**[0118]** In einer Ausführungsform erfolgt die Abkühlung des in Schritt d) erhaltenen Metallmatrix-Verbundwerkstoffes in einen festen Zustand ( $T \leq T_{\text{solids}}$ ), beispielsweise auf eine Temperatur von  $\leq 100^\circ\text{C}$ , vorzugsweise auf Raumtemperatur, i.e. eine Temperatur von  $10$  bis  $28^\circ\text{C}$ . Der erhaltene Metallmatrix-Verbundwerkstoff kann in Form von Masseln erhalten werden. Anschließend wird der Metallmatrix-Verbundwerkstoff vorzugsweise auf eine Temperatur zwischen  $750^\circ\text{C}$  und  $T_{\text{liquidus}}$ , noch bevorzugter auf eine Temperatur zwischen  $750^\circ\text{C}$  und  $850^\circ\text{C}$ , erwärmt. Nach Erwärmung des Metallmatrix-Verbundwerkstoffes auf eine Temperatur zwischen  $750^\circ\text{C}$  und  $T_{\text{liquidus}}$  ist eine Zulegierung der mindestens einen weiteren Komponente als Legierungselement(e) möglich. Der so erhaltene Metallmatrix-Verbundwerkstoff, umfassend mindestens eine weitere Komponente als Legierungselement(e), kann anschließend mindestens einem weiteren Verfahrensschritt, beispielsweise dem Stranggussverfahren, unterzogen werden. Das Stranggussverfahren hat den Vorteil, dass der erhaltene Metallmatrix-Verbundwerkstoff abgekühlt wird, beispielsweise in einen festen Zustand ( $T \leq T_{\text{solids}}$ ), vorzugsweise auf eine Temperatur von  $\leq 100^\circ\text{C}$ , noch bevorzugter auf Raumtemperatur, i.e. eine Temperatur von  $10$  bis  $28^\circ\text{C}$ . Der erhaltene Metallmatrix-Verbundwerkstoff kann anschließend in einem weiteren Verfahrensschritt einem Verfahren ausgewählt aus der Gruppe umfassend Schmiedeverfahren, Gussverfahren, Stranggussverfahren, Walzverfahren und Extrusionsverfahren, vorzugsweise Extrusionsverfahren, unterzogen werden. Diese Verfahren sind im Stand der Technik bekannt.

**[0119]** Aufgrund der Vorteile, die der erfindungsgemäße Metallmatrix-Verbundwerkstoff bietet, betrifft die vorliegende Erfindung auch ein Artikel umfassend den Metallmatrix-Verbundwerkstoff. Aufgrund des hohen Bor-Gehalts und damit seiner hohen Menge an Neutronenfänger, seiner hohen Warmfestigkeit und Wärmeleitfähigkeit sowie der hohen Langzeitbeständigkeit eignet sich der erfindungsgemäße Metallmatrix-Verbundwerkstoff insbesondere zur Herstellung von Lagerungsbehältern für radioaktiv (noch schwach) strahlende Kernbrennstäbe.

**[0120]** Der Artikel ist daher vorzugsweise ein Lage-

rungsbehälter für radioaktiv strahlende Kernbrennstäbe.

**[0121]** Aufgrund der hervorragenden Eigenschaften des Metallborids vom  $MB_6$ -Typ als Neutronen-Fänger, betrifft die vorliegende Erfindung auch die Verwendung eines Metallborids vom  $MB_6$ -Typ in einem Lagerungsbehälter für radioaktiv strahlende Kernbrennstäbe.

**[0122]** Das Metallborid liegt vorzugsweise in Form von Nanopartikeln vor. Die Partikel haben vorzugsweise einen Durchmesser in einem Bereich von 10 bis 100 000 nm. Beispielsweise haben die Partikel einen Durchmesser in einem Bereich von 15 bis 10 000 nm, weiter bevorzugt von 20 bis 5 000 nm und am meisten bevorzugt von 25 bis 1 000 nm.

**[0123]** Beispielsweise sind die Partikel des Metallborids sphärisch, nicht-sphärisch oder Mischungen hiervon. Vorzugsweise sind die Partikel des Metallborids eine Mischung aus sphärischen und nicht-sphärischen Partikeln.

**[0124]** In einer Ausführungsform sind die Partikel des Metallborids homogen in der Aluminiummatrix verteilt. Alternativ können die Partikel des Metallborids inhomogen in der Aluminiummatrix verteilt sein.

**[0125]** In einer Ausführungsform umfasst der Metallmatrix-Verbundwerkstoff das Metallborid in einer Menge von 12 bis 60 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht des Metallmatrix-Verbundwerkstoffes. Beispielsweise umfasst der Metallmatrix-Verbundwerkstoff das Metallborid in einer Menge von 12 bis 30 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht des Metallmatrix-Verbundwerkstoffes.

**[0126]** Das Metallborid ist ein Metallborid vom  $MB_6$ -Typ, wobei M ein Metall-Kation bezeichnet. Beispielsweise kann M ein Metall ausgewählt aus der Gruppe umfassend Calcium und/oder Lanthan sein. Die Verwendung eines Metallborids vom  $MB_6$ -Typ hat den Vorteil, dass der Metallmatrix-Verbundwerkstoff Bor in einer hohen Menge umfasst, insbesondere in einer Menge die höher ist als die Menge die üblicherweise mit Borcarbid ( $B_4C$ ) in entsprechenden Werkstoffen erzielt wird, und somit eine hohe Menge an "Neutronen-Fänger" bereitstellt.

**[0127]** In einer Ausführungsform ist das Metallborid daher Calcium-Hexaborid ( $CaB_6$ ) und/oder Lanthan-Hexaborid ( $LaB_6$ ).

**[0128]** Beispielsweise ist das Metallborid Calcium-Hexaborid ( $CaB_6$ ) und Lanthan-Hexaborid ( $LaB_6$ ). Alternativ ist das Metallborid Calcium-Hexaborid ( $CaB_6$ ) oder Lanthan-Hexaborid ( $LaB_6$ ).

**[0129]** Vorzugsweise ist das Metallborid Calcium-Hexaborid ( $CaB_6$ ).

**[0130]** In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist das Metallborid ein Gewichtsverhältnis der Isotopen  $^{11}B$  zu  $^{10}B$  [ $^{11}B/^{10}B$ ] von 5:1 bis 3:1 auf. Beispielsweise weist das Metallborid ein Gewichtsverhältnis der Isotopen  $^{11}B$  zu  $^{10}B$  [ $^{11}B/^{10}B$ ] von etwa 4:1 auf.

## Patentansprüche

### 1. Metallmatrix-Verbundwerkstoff umfassend

- a) eine Aluminiummatrix, und
- b) in der Aluminiummatrix verteilte Partikel umfassend ein Metallborid, wobei der Metallmatrix-Verbundwerkstoff das Metall-Kation in einer Menge von 2 bis 20 Gew.-%, und Borid in einer Menge von 10 bis 40 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht des Metallmatrix-Verbundwerkstoffes, umfasst.

2. Der Metallmatrix-Verbundwerkstoff gemäß Anspruch 1, wobei die Aluminiummatrix als weitere Komponente mindestens eine Komponente ausgewählt aus der Gruppe umfassend Silicium (Si), Scandium (Sc), Kupfer (Cu), Magnesium (Mg), Nickel (Ni), Eisen (Fe), Vanadium (V), Titan (Ti), Zirkon (Zr), Ytterbium (Y), Mangan (Mn), Hafnium (Hf), Niob (Nb), Tantal (Ta), Lanthan (La) oder Mischungen hiervon umfasst.

3. Der Metallmatrix-Verbundwerkstoff gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei der Metallmatrix-Verbundwerkstoff die Aluminiummatrix in einer Menge von 40 bis 88 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht des Metallmatrix-Verbundwerkstoffes, umfasst.

4. Der Metallmatrix-Verbundwerkstoff gemäß einem der vorherigen Ansprüche, wobei die in der Aluminiummatrix verteilten Partikel umfassend ein Metallborid ein Gewichtsverhältnis der Isotopen  $^{11}B$  zu  $^{10}B$  [ $^{11}B/^{10}B$ ] von 5:1 bis 3:1 aufweisen.

5. Der Metallmatrix-Verbundwerkstoff gemäß einem der vorherigen Ansprüche, wobei die in der Aluminiummatrix verteilten Partikel ein Metallborid vom  $MB_6$ -Typ umfassen, wobei M ein Metall-Kation bezeichnet.

6. Der Metallmatrix-Verbundwerkstoff gemäß einem der vorherigen Ansprüche, wobei die in der Aluminiummatrix verteilten Partikel Calcium-Hexaborid ( $CaB_6$ ) und/oder Lanthan-Hexaborid ( $LaB_6$ ) umfassen.

7. Der Metallmatrix-Verbundwerkstoff gemäß einem der vorherigen Ansprüche, wobei die in der Aluminiummatrix verteilten Partikel Nanopartikel mit einem Durchmesser von 10 bis 100 000 nm darstellen.

8. Der Metallmatrix-Verbundwerkstoff gemäß einem der vorherigen Ansprüche, wobei der Metallmatrix-Verbundwerkstoff eine Wärmeleitfähigkeit von mindestens  $160 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , bestimmt gemäß ISO 25239-1:2011, und/oder eine Festigkeit von mindestens  $117 \text{ N/mm}^2$  bei einer Temperatur von  $375^\circ\text{C}$ ,

bestimmt gemäß ISO 527-2, aufweist.

9. Der Metallmatrix-Verbundwerkstoff gemäß einem der vorherigen Ansprüche, wobei der Metallmatrix-Verbundwerkstoff durch ein Verfahren gemäß einem der Ansprüche 10 bis 12 erhalten wird. 5
  
10. Verfahren zur Herstellung eines Metallmatrix-Verbundwerkstoff gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, das Verfahren umfassend 10
  - a) Bereitstellen einer Aluminium-Vorlegierung umfassend ein Metall, das geeignet ist ein Metallborid zu bilden, wie in einem der Ansprüche 1 oder 4 bis 7 definiert, 15
  - b) Bereitstellen einer Aluminium-Vorlegierung umfassend Bor
  - c) Schmelzen der Aluminium-Vorlegierungen aus Schritt a) und b),
  - d) Inkontaktbringen der Aluminiumschmelzen aus Schritt c) bei einer Temperatur von mindestens 900 °C zur Herstellung des Metallmatrix-Verbundwerkstoffes. 20
  
11. Verfahren gemäß Anspruch 10, wobei das Inkontaktbringen in Schritt d) bei einer Temperatur von 900 °C bis 1 500 °C erfolgt. 25
  
12. Verfahren gemäß Anspruch 10 oder 11, wobei der in Schritt d) erhaltene Metallmatrix-Verbundwerkstoff auf eine Temperatur unterhalb der in Schritt d) eingesetzten Temperatur abgekühlt wird. 30
  
13. Artikel, vorzugsweise ein Lagerungsbehälter für radioaktiv strahlende Kernbrennstäbe, umfassend den Metallmatrix-Verbundwerkstoff gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9. 35
  
14. Verwendung eines Metallborids vom MB<sub>6</sub>-Typ, wie in einem der Ansprüche 1 oder 4 bis 7 definiert, in einem Lagerungsbehälter für radioaktiv strahlende Kernbrennstäbe. 40

45

50

55



## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung  
EP 15 00 1849

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	DE 602 13 830 T2 (SAFFIL LTD [GB]) 22. Februar 2007 (2007-02-22)	1-7,13	INV. C22C29/14 C22C32/00 G21F1/08 C22C1/10
A	* Beispiele *	8-12,14	
-----			
X	DE 10 2006 023041 A1 (BAYERISCHE MOTOREN WERKE AG [DE]) 22. November 2007 (2007-11-22)	1-7,13	
A	* Beispiele * * Abbildungen *	8-12,14	
-----			
X	WO 2014/061494 A1 (KOBEL STEEL LTD [JP]) 24. April 2014 (2014-04-24)	1-6,13, 14	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)  C22C G21F
A	* Absatz [0002] * * Beispiele *	7-12	
-----			
X	US 4 690 796 A (PALIWAL MUKTESH [US]) 1. September 1987 (1987-09-01)	1-4,7,13	
A	* Beispiele *	5,6, 8-12,14	
-----			
X	US 2015/151360 A1 (ISHIDA HITOSHI [JP] ET AL) 4. Juni 2015 (2015-06-04)	14	
A	* das ganze Dokument * * Absatz [0002] * * Absatz [0026] *	1-13	
-----			
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
Den Haag		16. Dezember 2015	Morra, Valentina
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

EPO FORM 1503 03.92 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 15 00 1849

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.  
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

16-12-2015

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 60213830 T2	22-02-2007	AT 335866 T	15-09-2006
		CA 2461544 A1	01-05-2003
		DE 60213830 T2	22-02-2007
		DK 1430160 T3	09-10-2006
		EP 1430160 A2	23-06-2004
		ES 2269815 T3	01-04-2007
		HK 1061703 A1	06-10-2006
		JP 2005506451 A	03-03-2005
		MX PA04002696 A	04-11-2005
		PT 1430160 E	31-10-2006
		TW 1255858 B	01-06-2006
		US 2007218320 A1	20-09-2007
		WO 03035919 A2	01-05-2003
-----			
DE 102006023041 A1	22-11-2007	KEINE	
-----			
WO 2014061494 A1	24-04-2014	EP 2910656 A1	26-08-2015
		JP 2014080658 A	08-05-2014
		US 2015218681 A1	06-08-2015
		WO 2014061494 A1	24-04-2014
-----			
US 4690796 A	01-09-1987	KEINE	
-----			
US 2015151360 A1	04-06-2015	EP 2859970 A1	15-04-2015
		JP 2014000603 A	09-01-2014
		US 2015151360 A1	04-06-2015
		WO 2013175988 A1	28-11-2013
-----			

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

**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 102011120988 A1 [0002]