

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
29. Dezember 2016 (29.12.2016)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2016/207254 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

C22C 29/14 (2006.01) G21F 1/08 (2006.01)
C22C 32/00 (2006.01) C22C 1/10 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/064481

(22) Internationales Anmeldedatum:
22. Juni 2016 (22.06.2016)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
15001849.7 23. Juni 2015 (23.06.2015) EP

(71) Anmelder: AIRBUS DEFENCE AND SPACE GMBH
[DE/DE]; Willy-Messerschmitt-Str. 1, 82024 Taufkirchen
(DE).

(72) Erfinder: PALM, Frank; Hans-Durach-Straße 4, 82008
Unterhaching (DE).

(74) Anwalt: KOPF WESTENBERGER
WACHENHAUSEN PATENTANWÄLTE PARTG
MBB; Brienner Str. 11, 80333 Munich (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM,
ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG,
KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE,
IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,
RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)



WO 2016/207254 A1

(54) Title: METAL-BORIDE-MODIFIED ALUMINUM-BASED MATERIAL FOR STORING SPENT NUCLEAR FUEL RODS,
AND PRODUCTION OF SAID MATERIAL

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

(57) Abstract: The invention relates to a metal-matrix composite material, comprising an aluminum matrix and particles, which are
distributed in the aluminum matrix and comprise a metal boride, to a method for producing such a metal-matrix composite material,
to an article comprising such a metal-matrix composite material, and to the use of a metal boride of the MB₆ type in a storage
container for radioactive nuclear fuel rods.

(57) Zusammenfassung: 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 MB₆-Typ in einem Lagerungsbehälter für radioaktiv strahlende Kernbrennstäbe.

Metallborid-modifizierter Aluminium-basierter Werkstoff für die Lagerung abgebrannter Kernbrennstäbe und Herstellung desselben

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 MB₆-Typ in einem Lagerungsbehälter für radioaktiv strahlende Kernbrennstäbe.

Hintergrund der Erfindung

Metallmatrix-Verbundwerkstoffe umfassend Metallboride werden häufig zur Herstellung von Lagerungsbehälter für radioaktiv (noch schwach) strahlende Kernbrennstäbe verwendet. Insbesondere Metallboride vom MB₄-Typ, wie Borcarbid (B₄C), werden derzeit in Aluminium-Legierungen eingesetzt. Dazu werden die Aluminium-Legierungen mit pulverförmigem Borcarbid (B₄C) 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.

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.

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.

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 höher ist als die Menge, die üblicherweise mit Borcarbid (B_4C) 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.

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

Zusammenfassung der Erfindung

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.

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_4C) 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.

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.

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

Beispielsweise weist 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 auf.

Beispielsweise umfasst die in der Aluminiummatrix verteilten Partikel ein Metallborid vom MB_6 -Typ, wobei M ein Metall-Kation bezeichnet.

Beispielsweise umfassen die in der Aluminiummatrix verteilten Partikel Calcium-Hexaborid (CaB_6) und/oder Lanthan-Hexaborid (LaB_6).

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

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 N/mm^2 bei einer Temperatur von 375 °C , bestimmt gemäß ISO 527-2, auf.

Beispielsweise wird der Metallmatrix-Verbundwerkstoff durch das hierin beschriebene Verfahren erhalten.

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 °C zur Herstellung des Metallmatrix-Verbundwerkstoffes.

Beispielsweise erfolgt das Inkontaktbringen in Schritt d) bei einer Temperatur von 900 °C bis $1\,500 \text{ °C}$.

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

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

Ferner betrifft die vorliegende Erfindung die Verwendung eines Metallborids vom MB₆-Typ in einem Lagerungsbehälter für radioaktiv strahlende Kernbrennstäbe.

Detaillierte Beschreibung der Erfindung

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.

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.

Die Aluminiummatrix kann im Wesentlichen aus Aluminium bestehen.

Alternativ umfasst die Aluminiummatrix mindestens eine weitere Komponente als Legierungselement(e).

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.

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).

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).

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).

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).

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

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.

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

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.

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 Aluminiummat-

rix. 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.

Die Aluminiummatrix kann einen die 100.0 Gew.-% ausgleichenden Anteil an Verunreinigungen aufweisen.

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.

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.

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.

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.

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 Wärmefestigkeit beiträgt.

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 Kriechfes-

tigkeit der Aluminiummatrix und somit auch des Metallmatrix-Verbundwerkstoffes. Zusätzlich kann die Wärmeleitfähigkeit verbessert werden.

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.

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.

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.

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.

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.

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 Verunreinigungs Spuren.

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 Verunreinigungen Spuren.

Alternativ umfasst der Metallmatrix-Verbundwerkstoff eine Matrix umfassend, vorzugsweise bestehend 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 Verunreinigungs Spuren.

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.

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.

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).

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.

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

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.

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.

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.

Die in der Aluminiummatrix verteilten Partikel umfassend ein Metallborid stellen vorzugsweise Nanopartikel dar.

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.

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

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

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.

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.

Alternativ können die Partikel umfassend ein Metallborid inhomogen in der Aluminiummatrix verteilt sein.

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.

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.

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

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).

Vorzugsweise umfassen die in der Aluminiummatrix verteilten Partikel daher Calcium-Hexaborid (CaB_6).

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

Der Metallmatrix-Verbundwerkstoff weist insbesondere eine hohe Warmfestigkeit und Wärmeleitfähigkeit auf.

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 N/mm^2 bei einer Temperatur von 375°C , bestimmt gemäß ISO 527-2, auf.

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 N/mm^2 , vorzugsweise von 117 bis 150 N/mm^2 , bei einer Temperatur von 375°C , bestimmt gemäß ISO 527-2, auf.

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 N/mm^2 , vorzugsweise von 117 bis 150 N/mm^2 , bei einer Temperatur von 375°C , bestimmt gemäß ISO 527-2, auf.

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 N/mm^2 , vorzugsweise von 117 bis 150 N/mm^2 , bei einer Temperatur von 375 °C, bestimmt gemäß ISO 527-2, auf.

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.

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.

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.

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

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.

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.

In einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird eine Aluminium-Vorlegierung umfassend ein Metall bereitgestellt, das geeignet ist ein Metallborid vom MB_6 -Typ zu bilden, wobei M ein Metall-Kation bezeichnet.

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

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.

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.

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

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.

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

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

Aluminium-Vorlegierungen umfassend Bor sind im Stand der Technik bekannt.

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.

Typischerweise wird die Aluminium-Vorlegierung umfassend Bor in Massel- oder Drahtform bereitgestellt.

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.

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.

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

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-Vorlegung umfassend ein Metall, das geeignet ist ein Metallborid zu bilden, in die Schmelze der Aluminium-Vorlegung umfassend Bor gerührt werden, oder umgekehrt.

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.

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.

In einer Ausführungsform erfolgen Schritt c) und Schritt d) bei der gleichen Temperatur.

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.

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

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

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 ≤ 100 °C, vorzugsweise auf Raumtemperatur, i.e. eine Temperatur von 10 bis 28 °C. Eine Abkühlung auf eine Temperatur von ≤ 100 °C

erfolgt vorzugsweise, wenn der erhaltene Metallmatrix-Verbundwerkstoff keine weiteren Komponenten als Legierungselement(e) umfasst.

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_{liquidus} , noch bevorzugter auf eine Temperatur zwischen 750 °C und 850 °C, abgekühlt.

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 ≥ 1 K/sec, und vorzugsweise ≥ 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.

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.

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.

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

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 $\leq 100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Beispielsweise erfolgt die Abkühlung des Metallmatrix-Verbundwerkstoffes, nach Zulegierung der mindestens einen weiteren Komponente, auf eine Temperatur von $\leq 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ mit einer Abkühlgeschwindigkeit, die $\geq 10\text{ K/sec}$, und vorzugsweise ≥ 10 bis 20 K/sec , beträgt. Beispielsweise erfolgt die Abkühlung des Metallmatrix-Verbundwerkstoffes auf eine Temperatur von $\leq 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ mit einer Abkühlgeschwindigkeit in einem Bereich von $\geq 20\text{ K/sec}$ oder in einem Bereich von 20 K/sec bis 1000 K/sec .

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.

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.

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.

Vorzugsweise wird der in Schritt d) erhaltene Metallmatrix-Verbundwerkstoff einem Stranggussverfahren unterzogen.

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.

Umfasst der Metallmatrix-Verbundwerkstoff mindestens eine weitere Komponente 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.

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 $\leq 100\text{ °C}$, vorzugsweise auf Raumtemperatur, i.e. eine Temperatur von 10 bis 28 °C . Der erhaltene Metallmatrix-Verbundwerkstoff kann in Form von Masseln erhalten werden. Anschließend wird der Metallmatrix-Verbundwerkstoff vorzugsweise auf eine Temperatur zwischen 750 °C und T_{liquidus} ,

noch bevorzugter auf eine Temperatur zwischen 750 °C und 850 °C, erwärmt. Nach Erwärmung des Metallmatrix-Verbundwerkstoffes auf eine Temperatur zwischen 750 °C und T_{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 ($T \leq T_{\text{solidus}}$), vorzugsweise auf eine Temperatur von ≤ 100 °C, noch bevorzugter auf Raumtemperatur, i.e. eine Temperatur von 10 bis 28 °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.

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 Neutronen-Fänger, 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.

Der Artikel ist daher vorzugsweise ein Lagerungsbehälter für radioaktiv strahlende Kernbrennstäbe.

Aufgrund der hervorragenden Eigenschaften des Metallborids vom MB_6 -Typ als Neutronen-Fänger, betrifft die vorliegende Erfindung auch die Verwendung eines

Metallborids vom MB₆-Typ in einem Lagerungsbehälter für radioaktiv strahlende Kernbrennstäbe.

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.

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.

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.

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.

Das Metallborid ist ein Metallborid vom MB₆-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 MB₆-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 (B₄C) in entsprechenden Werkstoffen erzielt wird, und somit eine hohe Menge an „Neutronen-Fänger“ bereitstellt.

In einer Ausführungsform ist das Metallborid daher Calcium-Hexaborid (CaB_6) und/oder Lanthan-Hexaborid (LaB_6).

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).

Vorzugsweise ist das Metallborid Calcium-Hexaborid (CaB_6).

In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist das Metallborid ein Gewichtsverhältnis der Isotopen ^{11}B zu ^{10}B [$^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$] von 5:1 bis 3:1 auf. Beispielsweise weist das Metallborid ein Gewichtsverhältnis der Isotopen ^{11}B zu ^{10}B [$^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$] 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 [$^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$] 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 N/mm^2 bei einer Temperatur von 375 °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.
10. Verfahren zur Herstellung eines Metallmatrix-Verbundwerkstoff gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, das Verfahren umfassend
 - 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,
 - 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.
11. Verfahren gemäß Anspruch 10, wobei das Inkontaktbringen in Schritt d) bei einer Temperatur von 900 °C bis 1 500 °C erfolgt.
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.
13. Artikel, vorzugsweise ein Lagerungsbehälter für radioaktiv strahlende Kernbrennstäbe, umfassend den Metallmatrix-Verbundwerkstoff gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9.
14. Verwendung eines Metallborids vom MB₆-Typ, wie in einem der Ansprüche 1 oder 4 bis 7 definiert, in einem Lagerungsbehälter für radioaktiv strahlende Kernbrennstäbe.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/064481

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. C22C29/14 C22C32/00 G21F1/08 C22C1/10 ADD.		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) C22C G21F		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, COMPENDEX, INSPEC, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	DE 602 13 830 T2 (SAFFIL LTD [GB]) 22 February 2007 (2007-02-22) examples	1-7,13 8-12,14
X A	DE 10 2006 023041 A1 (BAYERISCHE MOTOREN WERKE AG [DE]) 22 November 2007 (2007-11-22) examples figures	1-8,13 9-12,14
X A	WO 2014/061494 A1 (KOBE STEEL LTD [JP]) 24 April 2014 (2014-04-24) paragraph [0002] examples	1-6,8, 13,14 7,9-12
----- -/--		
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 28 September 2016		Date of mailing of the international search report 07/10/2016
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Morra, Valentina

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2016/064481

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	US 4 690 796 A (PALIWAL MUKTESH [US]) 1 September 1987 (1987-09-01) examples	1-4,7,8, 13 5,6, 9-12,14
X A	----- US 2015/151360 A1 (ISHIDA HITOSHI [JP] ET AL) 4 June 2015 (2015-06-04) the whole document paragraph [0002] paragraph [0026] -----	14 1-13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2016/064481

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
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 I255858 B	01-06-2006
		US 2007218320 A1	20-09-2007
		WO 03035919 A2	01-05-2003

DE 102006023041 A1		22-11-2007	NONE

WO 2014061494	A1	24-04-2014	EP 2910656 A1 26-08-2015
			JP 5829997 B2 09-12-2015
			JP 2014080658 A 08-05-2014
			US 2015218681 A1 06-08-2015
			WO 2014061494 A1 24-04-2014

US 4690796	A	01-09-1987	NONE

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

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. C22C29/14 C22C32/00 G21F1/08 C22C1/10
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 C22C G21F

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, COMPENDEX, INSPEC, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 602 13 830 T2 (SAFFIL LTD [GB]) 22. Februar 2007 (2007-02-22)	1-7,13
A	Beispiele	8-12,14

X	DE 10 2006 023041 A1 (BAYERISCHE MOTOREN WERKE AG [DE]) 22. November 2007 (2007-11-22)	1-8,13
A	Beispiele Abbildungen	9-12,14

X	WO 2014/061494 A1 (KOBE STEEL LTD [JP]) 24. April 2014 (2014-04-24)	1-6,8, 13,14
A	Absatz [0002] Beispiele	7,9-12

	-/-	



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

28. September 2016

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

07/10/2016

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Morra, Valentina

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X A	US 4 690 796 A (PALIWAL MUKTESH [US]) 1. September 1987 (1987-09-01) Beispiele	1-4,7,8, 13 5,6, 9-12,14
X A	----- US 2015/151360 A1 (ISHIDA HITOSHI [JP] ET AL) 4. Juni 2015 (2015-06-04) das ganze Dokument Absatz [0002] Absatz [0026] -----	14 1-13

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/064481

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 I255858 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 5829997 B2	09-12-2015
		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
