

(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

22. Mai 2014 (22.05.2014)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer

WO 2014/076174 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

C22C 21/02 (2006.01) F16J 1/01 (2006.01)  
B22D 18/04 (2006.01) C22C 21/04 (2006.01)  
B22D 21/00 (2006.01)

(74) Anwälte: WIEDEMANN, Peter et al.; HOFFMANN · EITLE, Arabellastrasse 4, 81925 München (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2013/073812

(22) Internationales Anmeldedatum:

14. November 2013 (14.11.2013)

(25) Einreichungssprache:

Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache:

Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

10 2012 220 765.1

14. November 2012 (14.11.2012) 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, LT, 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, 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)

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING AN ENGINE COMPONENT, ENGINE COMPONENT, AND USE OF AN ALUMINIUM ALLOY

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES MOTORBAUTEILS, MOTORBAUTEIL UND VERWENDUNG EINER ALUMINIUMLEGIERUNG

(57) Abstract: A method is described for producing an engine component, more particularly a piston for an internal combustion engine, in which an aluminium alloy is cast using the gravity die casting method and wherein the aluminium alloy comprises the following alloy elements: 9 to  $\leq$  10.5% by weight silicon, > 2.0 to < 3.5% by weight nickel, > 3.7 to 5.2% by weight copper, < 1% by weight cobalt, 0.5 to 1.5% by weight magnesium, 0.1 to 0.7% by weight iron, 0.1 to 0.4% by weight manganese, > 0.1 to < 0.2% by weight zirconium, > 0.1 to < 0.2% by weight vanadium, 0.05 to < 0.2% by weight titanium, 0.004 to 0.008% by weight phosphorus, wherein said aluminium alloy further comprises aluminium and unavoidable impurities. The invention further describes an engine component, in particular a piston for an internal combustion engine, wherein the engine component consists, at least partially, of an aluminium alloy, and the use of an aluminium alloy to produce an engine component, more particularly a piston of an internal combustion engine.

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Verfahren zur Herstellung eines Motorbauteils, insbesondere eines Kolbens für einen Verbrennungsmotor beschrieben, bei dem eine Aluminiumlegierung im Schwerkraftkokillengussverfahren abgegossen wird und wobei die Aluminiumlegierung als Legierungselemente 9 bis  $\leq$  10,5 Gew.-% Silizium, > 2,0 bis < 3,5 Gew.-% Nickel, > 3,7 bis 5,2 Gew.-% Kupfer, < 1 Gew.-% Kobalt, 0,5 bis 1,5 Gew.-% Magnesium, 0,1 bis 0,7 Gew.-% Eisen, 0,1 bis 0,4 Gew.-% Mangan, > 0,1 bis < 0,2 Gew.-% Zirkonium, > 0,1 bis < 0,2 Gew.-% Vanadium, 0,05 bis < 0,2 Gew.-% Titan, 0,004 bis 0,008 Gew.-% Phosphor und als Rest Aluminium und nicht zu vermeidende Verunreinigungen aufweist. Ferner beschreibt die Erfindung ein Motorbauteil, insbesondere eine Kolben für einen Verbrennungsmotor, wobei das Motorbauteil zumindest teilweise aus einer Aluminiumlegierung besteht und die Verwendung einer Aluminiumlegierung zur Herstellung eines Motorbauteils, insbesondere eines Kolbens eines Verbrennungsmotors.

WO 2014/076174 A1

## Verfahren zur Herstellung eines Motorbauteils, Motorbauteil und Verwendung einer Aluminiumlegierung

### Technisches Gebiet

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung und Verwendung eines Motorbauteils, insbesondere eines Kolbens für einen Verbrennungsmotor, bei dem eine Aluminiumlegierung im Schwerkraftkokillengussverfahren abgegossen wird, ein Motorbauteil, das zumindest teilweise aus einer Aluminiumlegierung besteht, und die Verwendung einer Aluminiumlegierung zur Herstellung eines solchen Motorbauteils.

### Stand der Technik

In den letzten Jahren wurden zunehmend Forderungen nach besonders ökonomischen und damit ökologischen Transportmitteln laut, die hohen Verbrauchs- und Emissionsanforderungen gerecht werden müssen. Zudem besteht jeho das Bedürfnis, Motoren möglichst leistungsfähig und verbrauchsarm zu gestalten. Ein entscheidender Faktor bei der Entwicklung von leistungsfähigen und emissionsarmen Verbrennungsmotoren sind Kolben, die bei immer höheren Verbrennungstemperaturen und Verbrennungsdrücken eingesetzt werden können, was im Wesentlichen durch immer leistungsfähigere Kolbenwerkstoffe ermöglicht wird.

Grundsätzlich muss ein Kolben für einen Verbrennungsmotor eine hohe Warmfestigkeit aufweisen und dabei gleichzeitig möglichst leicht und fest sein. Dabei ist es von besonderer Bedeutung, wie die mikrostrukturelle Verteilung, Morphologie, Zusammensetzung und thermische Stabilität höchstwarmfester Phasen ausgebildet sind. Eine diesbezügliche Optimierung berücksichtigt üblicherweise einen minimalen Gehalt an Poren und oxidischen Einschlüssen.

Der gesuchte Werkstoff muss sowohl hinsichtlich isothermer Schwingfestigkeit (HCF) als auch hinsichtlich thermomechanischer Ermüdungsfestigkeit (TMF) optimiert

werden. Um die TMF optimal auszustalten ist stets eine möglichst feine Mikrostruktur des Werkstoffes anzustreben. Eine feine Mikrostruktur reduziert die Gefahr des Entstehens von Mikroplastizität bzw. von Mikrorissen an relativ großen primären Phasen (insbesondere an primären Siliziumausscheidungen) und damit auch die Gefahr von Rissinitiierung und -ausbreitung.

Unter TMF-Bbeanspruchung treten an relativ großen primären Phasen, insbesondere an primären Siliziumausscheidungen, aufgrund unterschiedlicher Ausdehnungskoeffizienten der einzelnen Bestandteile der Legierung, nämlich der Matrix und der primären Phasen, Mikroplastizitäten bzw. Mikrorisse auf, welche die Lebensdauer des Kolbenwerkstoffes erheblich senken können. Zur Erhöhung der Lebensdauer ist bekannt, die primären Phasen möglichst klein zu halten.

Beim verwendeten Schwerkraftkokillenguss gibt es eine Konzentrationsobergrenze, bis zu der Legierungselemente eingebracht werden sollten und bei deren Überschreiten die Gießbarkeit der Legierung verringert oder Gießen unmöglich wird. Darüber hinaus kommt es bei zu hohen Konzentrationen von festigkeitssteigernden Elementen zur Bildung großer plattenförmiger intermetallischer Phasen, welche die Ermüdungsfestigkeit drastisch absenken.

Die DE 44 04 420 A1 beschreibt eine Legierung die insbesondere für Kolben und für Bauteile verwendet werden kann, die hohen Temperaturen ausgesetzt werden und mechanisch stark beansprucht werden. Die beschriebene Aluminiumlegierung umfasst 8,0 bis 10,0 Gew.-% Silizium, 0,8 bis 2,0 Gew.-% Magnesium, 4,0 bis 5,9 Gew.-% Kupfer, 1,0 bis 3,0 Gew.-% Nickel, 0,2 bis 0,4 Gew.-% Mangan, weniger als 0,5 Gew.-% Eisen sowie mindestens ein Element, ausgewählt aus Antimon, Zirkonium, Titan, Strontium, Kobalt, Chrom, und Vanadium, wobei mindestens eines dieser Elemente in einer Menge von >0,3 Gew.-% vorhanden ist wobei die Summe dieser Elemente <0,8 Gew.-% ist.

Die EP 0 924 310 B1 beschreibt eine Aluminium-Siliziumlegierung die ihre Anwendung in der Herstellung von Kolben, insbesondere für Kolben in Brennkraftmaschinen hat. Die Aluminiumlegierung weist die folgende Zusammensetzung auf: 10,5 bis 13,5 Gew.-% Silizium, 2,0 bis weniger als 4,0 Gew.-% Kupfer 0,8 bis 1,5 Gew.-% Magnesium, 0,5 bis 2,0 Gew.-% Nickel, 0,3 bis 0,9 Gew.-% Kobalt, wenigstens 20 ppm Phosphor und entweder 0,05 bis 0,2 Gew.-% Titan oder bis zu 0,2 Gew.-% Zirkonium und/oder bis zu 0,2 Gew.-% Vanadium und als Rest Aluminium und unvermeidbare Verunreinigungen.

Die WO 00/71767 A1 beschreibt eine Aluminiumlegierung die geeignet für Hochtemperaturanwendungen ist, wie z.B. hochbelastete Kolben oder andere Anwendungen in Brennkraftmaschinen. Die Aluminiumlegierung setzt sich dabei aus folgenden Elementen zusammen: 6,0 bis 14,0 Gew.-% Silizium, 3,0 bis 8,0 Gew.-% Kupfer, 0,01 bis 0,8 Gew.-% Eisen, 0,5 bis 1,5 Gew.-% Magnesium, 0,05 bis 1,2 Gew.-% Nickel, 0,01 bis 1,0 Gew.-% Mangan, 0,05 bis 1,2 Gew.-% Titan, 0,05 bis 1,2 Gew.-% Zirkonium, 0,05 bis 1,2 Gew.-% Vanadium, 0,001 bis 0,10 Gew.-% Strontium und als Rest Aluminium.

Die DE 103 33 103 B4 beschreibt einen Kolben der aus einer Aluminiumgusslegierung gefertigt ist, wobei die Aluminiumgusslegierung enthält: 0,2 oder weniger Gew.-% Magnesium, 0,05 bis 0,3 Masse% Titan, 10 bis 21 Gew.-% Silizium, 2 bis 3,5 Gew.-% Kupfer, 0,1 bis 0,7 Gew.-% Eisen, 1 bis 3 Gew.-% Nickel, 0,001 bis 0,02 Gew.-% Phosphor, 0,02 bis 0,3 Gew.-% Zirkonium und als Rest Aluminium und Verunreinigungen. Weiter wird beschrieben, dass die Größe von einem nicht-metallischen Einschluss, der innerhalb des Kolbens vorhanden ist, geringer als 100  $\mu\text{m}$  ist.

Die EP 1 975 262 B1 beschreibt eine Aluminiumgusslegierung bestehend aus: 6 bis 9 % Silizium, 1,2 bis 2,5 % Kupfer, 0,2 bis 0,6 % Magnesium, 0,2 bis 3 % Nickel, 0,1 bis 0,7 % Eisen,

0,1 bis 0,3 % Titan, 0,03 bis 0,5 % Zirkonium, 0,1 bis 0,7 % Mangan, 0,01 bis 0,5 % Vanadium und einem oder mehreren der folgenden Elemente: Strontium 0,003 bis 0,05 %, Antimon 0,02 bis 0,2 % und Natrium 0,001 bis 0,03 %, wobei die Gesamtmenge aus Titan und Zirkonium weniger als 0,5 % beträgt und Aluminium und unvermeidbare Verunreinigungen den Rest bilden, wenn die Gesamtmenge als 100 Massenprozent angesetzt wird.

Die WO 2010/025919 A2 beschreibt ein Verfahren zur Herstellung eines Kolbens einer Brennkraftmaschine, wobei ein Kolbenrohling aus einer Aluminium-Siliziumlegierung unter Zugabe von Kupferanteilen gegossen und danach fertig bearbeitet wird. Die Erfindung sieht dabei vor, dass der Kupferanteil maximal 5,5 % der Aluminium-Siliziumlegierung beträgt und, dass der Aluminium-Siliziumlegierung Anteile von Titan (Ti), Zirkonium (Zr), Chrom (Cr) bzw. Vanadium (V) beigemischt werden und die Summe aller Bestandteile 100 % beträgt.

Die Anmeldung DE 102011083969 betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Motorbauteils, insbesondere eines Kolbens für einen Verbrennungsmotor, bei dem eine Aluminiumlegierung im Schwerkraftkokillengussverfahren abgegossen wird, ein Motorbauteil, das zumindest teilweise aus einer Aluminiumlegierung besteht, und die Verwendung einer Aluminiumlegierung zur Herstellung eines Motorbauteils. Dabei weist die Aluminiumlegierung die folgenden Legierungselemente auf: 6 bis 10 Gew.-% Silizium, 1,2 bis 2 Gew.-% Nickel, 8 bis 10 Gew.-% Kupfer, 0,5 bis 1,5 Gew.-% Magnesium, 0,1 bis 0,7 Gew.-% Eisen, 0,1 bis 0,4 Gew.-% Mangan, 0,2 bis 0,4 Gew.-% Zirkonium, 0,1 bis 0,3 Gew.-% Vanadium, 0,1 bis 0,5 Gew.-% Titan und Aluminium sowie vermeidbare Verunreinigungen als Rest. Vorzugsweise weist diese Legierung einen Phosphorgehalt von weniger als 30 ppm auf.

### Darstellung der Erfindung

Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung liegt darin, ein Verfahren zur Herstellung eines Motorbauteils, insbesondere eines Kolbens für einen Verbrennungsmotor bereitzustellen, bei dem eine Aluminiumlegierung im Schwerkraftkokillengussverfahren abgegossen wird, so dass ein höchstwarmfestes Motorbauteil im Schwerkraftkokillengussverfahren hergestellt werden kann.

Die Lösung dieser Aufgabe wird durch das Verfahren nach Anspruch 1 gegeben. Weitere bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung ergeben sich aus den diesbezüglichen Unteransprüchen.

Eine weitere Aufgabe der Erfindung liegt darin, ein Motorbauteil, insbesondere einen Kolben für einen Verbrennungsmotor, bereitzustellen, das/der höchstwarmfest ist und dabei zumindest teilweise aus einer Aluminiumlegierung besteht.

Diese Aufgabe wird durch den Gegenstand des Anspruchs 8 gelöst und weitere bevorzugte Ausführungsformen ergeben sich aus den diesbezüglichen Unteransprüchen.

Bei einem erfindungsgemäßen Verfahren weist die Aluminiumlegierung die folgenden Legierungselemente:

Silizium:	9 Gew.-%	bis	$\leq$ 10,5 Gew.-%,
Nickel:	> 2,0 Gew.-%	bis	< 3,5 Gew.-%,
Kupfer:	> 3,7 Gew.-%	bis	5,2 Gew.-%,
Kobalt:		bis	< 1 Gew.-%
Magnesium:	0,5 Gew.-%	bis	1,5 Gew.-%,
Eisen:	0,1 Gew.-%	bis	0,7 Gew.-%,
Mangan:	0,1 Gew.-%	bis	0,4 Gew.-%,
Zirkonium:	> 0,1 Gew.-%	bis	< 0,2 Gew.-%,
Vanadium:	> 0,1 Gew.-%	bis	< 0,2 Gew.-%,
Titan:	0,05 Gew.-%	bis	< 0,2 Gew.-%,
Phosphor:	0,004 Gew.-%	bis	0,008 Gew.-%,

und als Rest Aluminium und nicht zu vermeidende Verunreinigungen, auf.

Bevorzugt weist die Aluminiumlegierung:

von > etwa 9 bis  $\leq$  etwa 10,5 weiter bevorzugt < etwa 10 insbesondere bevorzugt < etwa 9,5 oder weiter bevorzugt von etwa 9,5 bis etwa 10,5 Gew.-% Silizium;

von > etwa 2,3 weiter bevorzugt > etwa 3 bis < etwa 3,5 oder weiter bevorzugt von etwa 2,5 insbesondere bevorzugt etwa 2,9 bis etwa 3 Gew.-% Nickel;

von > etwa 3,8 weiter bevorzugt > etwa 4 und insbesondere bevorzugt > etwa 4,8 bis etwa 5,2 oder weiter bevorzugt von > etwa 3,7 bis etwa < 5 insbesondere bevorzugt < 4 oder weiter bevorzugt von etwa 4 insbesondere bevorzugt etwa 4,1 bis etwa 4,6 Gew.-% Kupfer;

von > etwa 0,5 und weiter bevorzugt > etwa 0,9 bis < etwa 1 Gew.-% Kobalt;

von etwa 0,5 und weiter bevorzugt > etwa 0,6 und insbesondere etwa 0,7 bis < etwa 1,5 weiter bevorzugt < etwa 0,8 oder weiter bevorzugt von > etwa 1 weiter bevorzugt > etwa 1,3 bis etwa 1,5 Gew.-% Magnesium;

von > etwa 0,5 weiter bevorzugt > etwa 0,6 bis etwa 0,7 oder weiter bevorzugt etwa 0,45 bis etwa 0,5 Gew.-% Eisen;

von etwa 0,1 bis < etwa 0,2 oder weiter bevorzugt von > etwa 0,25 bis etwa 0,4 Gew.-% Mangan;

von etwa 0,12 weiter bevorzugt etwa 0,13 bis etwa 0,19 Gew.-% Zirkonium;

von etwa 0,12 bis etwa 0,14 Gew.-% Vanadium;

von etwa 0,05 bis < etwa 0,15 oder weiter bevorzugt von etwa 0,11 insbesondere bevorzugt etwa 0,12 bis etwa 0,13 Gew.-% Titan; und

von etwa 0,005 bis etwa 0,006 Gew.-% Phosphor, auf.

Durch die gewählte Aluminiumlegierung ist es möglich, im Schwerkraftkokillengussverfahren ein Motorbauteil herzustellen, das einen hohen Anteil fein verteilter, hochwarmfester, thermisch stabiler Phasen und eine feine Mikrostruktur aufweist. Die Anfälligkeit gegenüber Rissinitiierung und Rissausbreitung z.B. an Oxiden oder primären Phasen und die TMF-HCF-Lebensdauer wird durch die Wahl der erfindungsgemäßen Legierung gegenüber den bisher bekannten Herstellungsverfahren von Kolben und ähnlichen Motorbauteilen reduziert.

Die erfindungsgemäße Legierung, insbesondere der vergleichsweise geringe Siliziumgehalt, führt auch dazu, dass zumindest bei einem erfindungsgemäß hergestellten Kolben in dessen thermisch hochbelastetem Muldenrandbereich vergleichsweise weniger und feineres primäres Silizium vorliegt, sodass die Legierung zu besonders guten Eigenschaften eines erfindungsgemäß hergestellten Kolbens führt. Somit kann ein höchstwarmfestes Motorbauteil im Schwerkraftkokillengussverfahren hergestellt werden. Die erfindungsgemäßen Anteile an Kupfer, Zirkonium, Vanadium und Titan, insbesondere der vergleichsweise hohe Gehalt an Zirkonium, Vanadium und Titan bewirken einen vorteilhaften Anteil festigkeitssteigernder Ausscheidungen, ohne dabei jedoch große plattenförmige intermetallische Phasen zu verursachen. Ferner sind die erfindungsgemäßen Anteile an Kobalt und Nickel vorteilhaft für die Steigerung der Warmfestigkeit der Legierung. Nickel trägt dabei zur Ausbildung thermisch stabiler intermetallischer Phasen bei. Kobalt steigert zudem die Härte und allgemein die Festigkeit der Legierung. Phosphor als Keimbildner trägt dazu bei, dass

primäre Siliziumausscheidungen möglichst fein und homogen verteilt ausgeschieden werden.

Mit Vorteil weist die Aluminiumlegierung bevorzugt 0,6 Gew.-% bis 0,8 Gew.-% Magnesium auf, das in dem bevorzugten Konzentrationsbereich insbesondere zur wirkungsvollen Ausbildung sekundärer, festigkeitssteigernder Phasen beiträgt, ohne dass eine übermäßige Oxidbildung auftritt. Ferner weist die Legierung alternativ oder zusätzlich bevorzugt 0,4 Gew.-% bis 0,6 Gew.-% Eisen auf, das die Klebeneigung der Legierung in der Gießkokille vorteilhaft vermindert, wobei in dem genannten Konzentrationsbereich die Bildung plattenförmiger Phasen begrenzt bleibt.

Mit Vorteil beträgt das Gewichtsverhältnis von Eisen zu Mangan in der Aluminiumlegierung höchstens etwa 5:1 bevorzugt etwa 2,5:1. In dieser Ausführungsform enthält die Aluminiumlegierung also höchstens fünf Teile Eisen gegenüber einem Teil Mangan, bevorzugt etwa 2,5 Teile Eisen gegenüber einem Teil Mangan. Durch dieses Verhältnis werden besonders vorteilhafte Festigkeitseigenschaften des Motorbauteils erzielt.

Ferner ist es bevorzugt, dass die Summe aus Nickel und Kobalt > 2,0 Gew.-% und < 3,8 Gew.-% beträgt. Die untere Grenze stellt dabei eine vorteilhafte Festigkeit der Legierung sicher und die obere Grenze gewährleistet mit Vorteil eine feine Mikrostruktur und vermeidet die Bildung grober, plattenförmiger Phasen, welche die Festigkeit verringern würden.

Mit Vorteil weist die Aluminiumlegierung eine feine Mikrostruktur mit einem geringen Gehalt von Poren und Einschlüssen und/oder wenig und kleines primäres Silizium, insbesondere im hochbelasteten Muldenrandbereich, auf. Dabei ist unter einem geringen Gehalt von Poren vorzugsweise eine Porosität von < 0,01 % und unter wenig primärem Silizium < 1 % zu verstehen. Ferner ist die feine Mikrostruktur

vorteilhaft dadurch beschrieben, dass die mittlere Länge des primären Silizium ca.  $< 5 \mu\text{m}$  und dessen maximale Länge ca.  $< 10 \mu\text{m}$  beträgt und die intermetallischen Phasen und/oder primären Ausscheidungen Längen von im Mittel ca.  $< 30 \mu\text{m}$  und maximal  $< 50 \mu\text{m}$  aufweisen.

Ferner ist es bevorzugt, dass die Aluminiumlegierung, insbesondere im Muldenrandbereich, einen Mittelwert einer Fläche von Siliziumausscheidungen  $<$  etwa  $100 \mu\text{m}^2$  und/oder einen Mittelwert einer Fläche der intermetallischen Phasen  $<$  etwa  $200 \mu\text{m}^2$  aufweist.

Die Charakterisierung der Mikrostruktur der Aluminiumlegierung erfolgt bevorzugt mittels quantitativer Gefügeanalyse. Dafür wird zunächst ein metallographischer Schliff angefertigt und lichtmikroskopisch entsprechende Schliffbilder, insbesondere für den technologisch besonders wichtigen Muldenrandbereich, aufgezeichnet. Beispielsweise kann dafür ein inverses Auflichtmikroskop verwendet werden. Damit werden dann, bei einer definierten Vergrößerung, Einzelbilder aufgenommen, per Computer zu einer Fläche (z.B.  $5,5 \text{ mm} \times 4,1 \text{ mm}$ ) zusammengesetzt und mittels Bildbearbeitungssoftware die Flächen und Flächenanteile bestimmter Phasen ermittelt.

Die feine Mikrostruktur trägt insbesondere zur Verbesserung der thermomechanischen Ermüdungsfestigkeit bei. Eine Begrenzung der Größe der Primärphasen kann die Anfälligkeit gegen Rissinitiierung und Rissausbreitung verringern und so die TMF-HCF-Lebensdauer signifikant erhöhen. Ferner ist es auf Grund der Kerbwirkung von Poren und Einschlüssen besonders vorteilhaft deren Gehalt gering zu halten.

Ein erfindungsgemäßes Motorbauteil besteht zumindest teilweise aus einer der oben genannten Aluminiumlegierungen. Ein weiterer unabhängiger Aspekt der Erfindung liegt in der Verwendung der oben ausgeführten Aluminiumlegierung für die Herstellung eines Motorbauteils, insbesondere eines Kolbens eines Verbrennungsmotors. Insbesondere wird die aufgefundene

Aluminiumlegierung dabei im Schwerkraftkokillengussverfahren verarbeitet.

### Beispiele

Für die oben beschriebene Aluminiumlegierung seien beispielhaft eine Legierung 1 mit 10,5 Gew.-% Silizium; 3 Gew.-% Nickel; 4,1 Gew.-% Kupfer; 0,7 Gew.-% Magnesium; 0,5 Gew.-% Eisen; 0,2 Gew.-% Mangan; 0,13 Gew.-% Zirkonium; 0,12 Gew.-% Vanadium; 0,13 Gew.-% Titan und 0,006 Gew.-% Phosphor, eine Legierung 2 mit 9,5 Gew.-% Silizium; 2,9 Gew.-% Nickel; 4,0 Gew.-% Kupfer; 0,7 Gew.-% Magnesium; 0,45 Gew.-% Eisen; 0,2 Gew.-% Mangan; 0,12 Gew.-% Zirkonium; 0,12 Gew.-% Vanadium; 0,12 Gew.-% Titan und 0,006 Gew.-% Phosphor und eine Legierung 3 mit 9,5 Gew.-% Silizium; 2,5 Gew.-% Nickel; 4,6 Gew.-% Kupfer; 0,7 Gew.-% Magnesium; 0,45 Gew.-% Eisen; 0,2 Gew.-% Mangan; 0,19 Gew.-% Zirkonium; 0,14 Gew.-% Vanadium; 0,11 Gew.-% Titan und 0,005 Gew.-% Phosphor und jeweils als Rest Aluminium und nicht zu vermeidende Verunreinigungen, genannt.

**Patentansprüche**

1. Verfahren zur Herstellung eines Motorbauteils, insbesondere eines Kolbens für einen Verbrennungsmotor, bei dem eine Aluminiumlegierung im Schwerkraftkokillengussverfahren abgegossen wird, wobei die Aluminiumlegierung die folgenden Legierungselemente:

Silizium:	9 Gew.-%	bis	≤ 10,5 Gew.-%,
Nickel:	> 2,0 Gew.-%	bis	< 3,5 Gew.-%,
Kupfer:	> 3,7 Gew.-%	bis	5,2 Gew.-%,
Kobalt:		bis	< 1 Gew.-%
Magnesium:	0,5 Gew.-%	bis	1,5 Gew.-%,
Eisen:	0,1 Gew.-%	bis	0,7 Gew.-%,
Mangan:	0,1 Gew.-%	bis	0,4 Gew.-%,
Zirkonium:	> 0,1 Gew.-%	bis	< 0,2 Gew.-%,
Vanadium:	> 0,1 Gew.-%	bis	< 0,2 Gew.-%,
Titan:	0,05 Gew.-%	bis	< 0,2 Gew.-%,
Phosphor:	0,004 Gew.-%	bis	0,008 Gew.-%,

und als Rest Aluminium und nicht zu vermeidende Verunreinigungen aufweist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Aluminiumlegierung bevorzugt 0,6 Gew.-% bis 0,8 Gew.-% Magnesium aufweist.

3. Verfahren gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche 1 bis 2, wobei die Aluminiumlegierung bevorzugt 0,4 Gew.-% bis 0,6 Gew.-% Eisen aufweist.

4. Verfahren gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche 1 bis 3, wobei in der Aluminiumlegierung ein Gewichtsverhältnis von Eisen zu Mangan höchstens etwa 5:1, bevorzugt das Gewichtsverhältnis von Eisen zu Mangan etwa 2,5:1 beträgt.

5. Verfahren gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche 1 bis 4, wobei eine Summe aus Nickel und Kobalt bevorzugt > 2,0 Gew.-% und < 3,8 Gew.-% beträgt.

6. Verfahren gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche 1 bis 5, wobei die Aluminiumlegierung eine feine Mikrostruktur mit einem geringen Gehalt von Poren und Einschlüssen und/oder wenig und kleines primäres Silizium, insbesondere im Muldenrandbereich, aufweist, wobei die Porosität < 0,01 % und/oder der Gehalt an primärem Silizium < 1 % beträgt, wobei das primäre Silizium Längen von im Mittel < 5  $\mu\text{m}$  und/oder maximale Längen < 10  $\mu\text{m}$  aufweist, und die intermetallischen Phasen und/oder primären Ausscheidungen Längen von im Mittel < 30  $\mu\text{m}$  und/oder maximale Längen < 50  $\mu\text{m}$  aufweisen.

7. Verfahren gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche 1 bis 6, wobei die Aluminiumlegierung, insbesondere im Muldenrandbereich, einen Mittelwert einer Fläche von Siliziumausscheidungen < etwa 100  $\mu\text{m}^2$  und/oder einen Mittelwert einer Fläche der intermetallischen Phasen < etwa 200  $\mu\text{m}^2$  aufweist.

8. Motorbauteil, insbesondere Kolben für einen Verbrennungsmotor, das zumindest teilweise aus einer Aluminiumlegierung besteht,

wobei die Aluminiumlegierung die folgenden Legierungselemente:

Silizium:	9 Gew.-%	bis	$\leq$ 10,5 Gew.-%,
Nickel:	> 2,0 Gew.-%	bis	< 3,5 Gew.-%,
Kupfer:	> 3,7 Gew.-%	bis	5,2 Gew.-%,
Kobalt:		bis	< 1 Gew.-%
Magnesium:	0,5 Gew.-%	bis	1,5 Gew.-%,
Eisen:	0,1 Gew.-%	bis	0,7 Gew.-%,
Mangan:	0,1 Gew.-%	bis	0,4 Gew.-%,
Zirkonium:	> 0,1 Gew.-%	bis	< 0,2 Gew.-%,
Vanadium:	> 0,1 Gew.-%	bis	< 0,2 Gew.-%,
Titan:	0,05 Gew.-%	bis	< 0,2 Gew.-%,
Phosphor:	0,004 Gew.-%	bis	0,008 Gew.-%,

und als Rest Aluminium und nicht zu vermeidende Verunreinigungen aufweist.

9. Motorbauteil gemäß Anspruch 8, wobei die Aluminiumlegierung bevorzugt 0,6 Gew.-% bis 0,8 Gew.-% Magnesium aufweist.

10. Motorbauteil gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche 8 bis 9, wobei die Aluminiumlegierung bevorzugt 0,4 Gew.-% bis 0,6 Gew.-% Eisen aufweist.

11. Motorbauteil gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche 8 bis 10, wobei in der Aluminiumlegierung ein Gewichtsverhältnis von Eisen zu Mangan höchstens etwa 5:1, bevorzugt das Gewichtsverhältnis von Eisen zu Mangan etwa 2,5:1 beträgt.

12. Motorbauteil gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche 8 bis 11, wobei eine Summe aus Nickel und Kobalt bevorzugt > 2,0 Gew.-% und < 3,8 Gew.-% betragen soll.

13. Motorbauteil gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche 8 bis 12, wobei die Aluminiumlegierung eine feine Mikrostruktur mit einem geringen Gehalt von Poren und Einschlüssen und/oder wenig und kleines primäres Silizium, insbesondere im Muldenrandbereich, aufweist, wobei die Porosität < 0,01 % und/oder der Gehalt an primärem Silizium < 1 % beträgt, wobei das primäre Silizium Längen von im Mittel < 5  $\mu\text{m}$  und/oder maximale Längen < 10  $\mu\text{m}$  aufweist, und die intermetallischen Phasen und/oder primären Ausscheidungen Längen von im Mittel < 30  $\mu\text{m}$  und/oder maximale Längen < 50  $\mu\text{m}$  aufweisen.

14. Motorbauteil gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche 8 bis 13, wobei die Aluminiumlegierung, insbesondere im Muldenrandbereich, einen Mittelwert einer Fläche von Siliziumausscheidungen < etwa 100  $\mu\text{m}^2$  und/oder einen Mittelwert einer Fläche der intermetallischen Phasen < etwa 200  $\mu\text{m}^2$  aufweist.

15. Verwendung einer Aluminiumlegierung zur Herstellung eines Motorbauteils, insbesondere eines Kolbens eines Verbrennungsmotors,

wobei die Aluminiumlegierung die folgenden Legierungselemente:

Silizium:	9 Gew.-%	bis	$\leq$ 10,5 Gew.-%,
Nickel:	> 2,0 Gew.-%	bis	< 3,5 Gew.-%,
Kupfer:	> 3,7 Gew.-%	bis	5,2 Gew.-%,
Kobalt:		bis	< 1 Gew.-%
Magnesium:	0,5 Gew.-%	bis	1,5 Gew.-%,
Eisen:	0,1 Gew.-%	bis	0,7 Gew.-%,
Mangan:	0,1 Gew.-%	bis	0,4 Gew.-%,
Zirkonium:	> 0,1 Gew.-%	bis	< 0,2 Gew.-%,
Vanadium:	> 0,1 Gew.-%	bis	< 0,2 Gew.-%,
Titan:	0,05 Gew.-%	bis	< 0,2 Gew.-%,
Phosphor:	0,004 Gew.-%	bis	0,008 Gew.-%,

und als Rest Aluminium und nicht zu vermeidende Verunreinigungen aufweist.

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2013/073812

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER				
INV.	C22C21/02	B22D18/04	B22D21/00	F16J1/01
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 B22D F16J

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, 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	EP 0 924 310 A1 (FEDERAL MOGUL BRADFORD LIMITED [GB] FEDERAL MOGUL BRADFORD LTD [GB]) 23 June 1999 (1999-06-23) cited in the application claims 1-7 paragraph [0005] - paragraph [0018] -----	1-15
X	JP 2004 256873 A (NIPPON LIGHT METAL CO; AISIN SEIKI; TOYOTA MOTOR CORP; ART METAL MFG C) 16 September 2004 (2004-09-16) the whole document -----	8-15
A	-----	1-7
A	EP 0 924 311 A1 (FEDERAL MOGUL BRADFORD LIMITED [GB] FEDERAL MOGUL BRADFORD LTD [GB]) 23 June 1999 (1999-06-23) claims 1-9 examples 1-6 ----- - / --	1-15

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	Date of mailing of the international search report
29 January 2014	05/02/2014
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  Vlassi, Eleni

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2013/073812

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP H10 226840 A (UNISIA JECS CORP) 25 August 1998 (1998-08-25) the whole document -----	1-15
A	DE 44 04 420 A1 (ALCAN GMBH [DE]) 17 August 1995 (1995-08-17) cited in the application claims 1-11 -----	1-15
A	JP H07 216487 A (NIPPON STEEL CORP) 15 August 1995 (1995-08-15) the whole document -----	1-15
A	DE 22 61 315 A1 (SCHMIDT GMBH KARL) 27 June 1974 (1974-06-27) claims 1-2 -----	1-15
A	JP 2000 204428 A (NIPPON LIGHT METAL CO) 25 July 2000 (2000-07-25) the whole document -----	1-15
A	JP H01 180938 A (RYOBI LTD) 18 July 1989 (1989-07-18) the whole document -----	1-15
A	US 5 055 255 A (SCOTT GERALD D [US] ET AL) 8 October 1991 (1991-10-08) claims 1-24 -----	1-15

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/EP2013/073812
---

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)			Publication date
EP 0924310	A1	23-06-1999	DE	69802017 D1 DE 69802017 T2 EP 0924310 A1 GB 2332448 A	15-11-2001 21-03-2002 23-06-1999 23-06-1999
JP 2004256873	A	16-09-2004	NONE		
EP 0924311	A1	23-06-1999	DE	69814013 D1 DE 69814013 T2 EP 0924311 A1 GB 2332449 A	05-06-2003 27-11-2003 23-06-1999 23-06-1999
JP H10226840	A	25-08-1998	JP	3875338 B2 JP H10226840 A	31-01-2007 25-08-1998
DE 4404420	A1	17-08-1995	NONE		
JP H07216487	A	15-08-1995	NONE		
DE 2261315	A1	27-06-1974	DE	2261315 A1 FR 2210669 A1	27-06-1974 12-07-1974
JP 2000204428	A	25-07-2000	JP	3552565 B2 JP 2000204428 A	11-08-2004 25-07-2000
JP H01180938	A	18-07-1989	NONE		
US 5055255	A	08-10-1991	NONE		

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP2013/073812

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
INV. C22C21/02 B22D18/04 B22D21/00 F16J1/01 C22C21/04  
ADD.

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

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
C22C B22D F16J

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, WPI Data

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 0 924 310 A1 (FEDERAL MOGUL BRADFORD LIMITED [GB] FEDERAL MOGUL BRADFORD LTD [GB]) 23. Juni 1999 (1999-06-23) in der Anmeldung erwähnt Ansprüche 1-7 Absatz [0005] - Absatz [0018] -----	1-15
X	JP 2004 256873 A (NIPPON LIGHT METAL CO; AISIN SEIKI; TOYOTA MOTOR CORP; ART METAL MFG C) 16. September 2004 (2004-09-16) das ganze Dokument -----	8-15
A	EP 0 924 311 A1 (FEDERAL MOGUL BRADFORD LIMITED [GB] FEDERAL MOGUL BRADFORD LTD [GB]) 23. Juni 1999 (1999-06-23) Ansprüche 1-9 Beispiele 1-6 -----	1-7
A		1-15
		- / --



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 erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher 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

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

29. Januar 2014

05/02/2014

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

Vlassi, Eleni

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2013/073812

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	JP H10 226840 A (UNISIA JECS CORP) 25. August 1998 (1998-08-25) das ganze Dokument -----	1-15
A	DE 44 04 420 A1 (ALCAN GMBH [DE]) 17. August 1995 (1995-08-17) in der Anmeldung erwähnt Ansprüche 1-11 -----	1-15
A	JP H07 216487 A (NIPPON STEEL CORP) 15. August 1995 (1995-08-15) das ganze Dokument -----	1-15
A	DE 22 61 315 A1 (SCHMIDT GMBH KARL) 27. Juni 1974 (1974-06-27) Ansprüche 1-2 -----	1-15
A	JP 2000 204428 A (NIPPON LIGHT METAL CO) 25. Juli 2000 (2000-07-25) das ganze Dokument -----	1-15
A	JP H01 180938 A (RYOBI LTD) 18. Juli 1989 (1989-07-18) das ganze Dokument -----	1-15
A	US 5 055 255 A (SCOTT GERALD D [US] ET AL) 8. Oktober 1991 (1991-10-08) Ansprüche 1-24 -----	1-15
1		

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2013/073812

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
EP 0924310	A1	23-06-1999	DE DE EP GB	69802017 D1 69802017 T2 0924310 A1 2332448 A		15-11-2001 21-03-2002 23-06-1999 23-06-1999
JP 2004256873	A	16-09-2004		KEINE		
EP 0924311	A1	23-06-1999	DE DE EP GB	69814013 D1 69814013 T2 0924311 A1 2332449 A		05-06-2003 27-11-2003 23-06-1999 23-06-1999
JP H10226840	A	25-08-1998	JP JP	3875338 B2 H10226840 A		31-01-2007 25-08-1998
DE 4404420	A1	17-08-1995		KEINE		
JP H07216487	A	15-08-1995		KEINE		
DE 2261315	A1	27-06-1974	DE FR	2261315 A1 2210669 A1		27-06-1974 12-07-1974
JP 2000204428	A	25-07-2000	JP JP	3552565 B2 2000204428 A		11-08-2004 25-07-2000
JP H01180938	A	18-07-1989		KEINE		
US 5055255	A	08-10-1991		KEINE		