

(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
19. Oktober 2023 (19.10.2023)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2023/198543 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

C22C 1/02 (2006.01) C22F 1/043 (2006.01)
C22C 21/02 (2006.01) C22C 1/03 (2006.01)

RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2023/058922

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)

(22) Internationales Anmeldedatum:

05. April 2023 (05.04.2023)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

10 2022 203 679.4

12. April 2022 (12.04.2022) DE

(71) Anmelder: **ZF FRIEDRICHSHAFEN AG** [DE/DE]; Lö-
wentaler Straße 20, 88046 Friedrichshafen (DE).

(72) Erfinder: **STÜRZEL, Thomas Kurt**; Untere Bergstraße
1, 88693 Deggenhausen (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, CV, CZ, DJ, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG,
KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, ST, SV, SY, TH,
TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS,
ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,

(54) Title: ALUMINIUM ALLOY

(54) Bezeichnung: ALUMINIUMLEGIERUNG

(57) Abstract: The present invention relates to an aluminium alloy consisting of 8.0-10.0 wt.% Si, 0.10-0.35 wt.% Mo, 0-1.0 wt.% Fe, 0-0.40 wt.% Ce, 0-0.03 wt.% Sr, 0-0.03 wt.% Mg, 0-0.03 wt.% Cu and Al as well as unavoidable impurities as the remainder, wherein the weight percentages add up to 100 wt.% in the alloy, and wherein the unavoidable impurities make up in total no more than 0.15 wt.% and no individual impurity makes up more than 0.03 wt.%. The present invention also relates to a method for producing a component from the aluminium alloy according to the invention, to a corresponding component, and to the use of the aluminium alloy according to the invention for producing a component.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft eine Aluminiumlegierung, bestehend aus 8,0 – 10,0 Gew.-% Si, 0,10 – 0,35 Gew.-% Mo, 0 – 1,0 Gew.-% Fe, 0 – 0,40 Gew.-% Ce, 0 – 0,03 Gew.-% Sr, 0 – 0,03 Gew.-% Mg, 0 – 0,03 Gew.-% Cu, sowie als Rest Al sowie unvermeidbare Verunreinigungen, wobei sich die Gew.-% auf 100 Gew.-% in der Legierung ergänzen, und wobei die unvermeidbaren Verunreinigungen in Summe nicht mehr als 0,15 Gew.-% ausmachen und keine einzelne Verunreinigung mehr als 0,03 Gew.-% ausmacht. Die vorliegende Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Herstellen eines Bauteils aus der erfindungsgemäßen Aluminiumlegierung, ein entsprechendes Bauteil sowie die Verwendung der erfindungsgemäßen Aluminiumlegierung zur Herstellung eines Bauteils.

WO 2023/198543 A1

Aluminiumlegierung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Aluminiumlegierung, bestehend aus 8,0 – 10,0 Gew.-% Si, 0,10 – 0,35 Gew.-% Mo, 0 – 1,0 Gew.-% Fe, 0 – 0,40 Gew.-% Ce, 0 – 0,03 Gew.-% Sr, 0 – 0,03 Gew.-% Mg, 0 – 0,03 Gew.-% Cu, sowie als Rest Al sowie unvermeidbare Verunreinigungen, wobei sich die Gew.-% auf 100 Gew.-% in der Legierung ergänzen, und wobei die unvermeidbaren Verunreinigungen in Summe nicht mehr als 0,15 Gew.-% ausmachen und keine einzelne Verunreinigung mehr als 0,03 Gew.-% ausmacht. Die vorliegende Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Herstellen eines Bauteils aus der erfindungsgemäßen Aluminiumlegierung, ein entsprechendes Bauteil sowie die Verwendung der erfindungsgemäßen Aluminiumlegierung zur Herstellung eines Bauteils.

Eine Hauptkomponente des Elektroantriebs ist der E-Maschinen-Rotor. Dieser ist bei Asynchronmaschinen (ASM) üblicherweise aus Aluminium oder Legierungen auf Aluminiumbasis ausgeführt. Die Anforderungen an das Material für einen ASM-Rotor sind sehr hoch. Das Material muss den großen mechanischen Kräften, die bei den hohen Drehzahlen des E-Maschinen-Rotors auftreten, widerstehen. Ein Versagen des Materials durch Bruch kann zur Zerstörung des Motors führen. Daher muss das Material gute mechanische Eigenschaften, insbesondere eine hohe Dehngrenze auch bei hohen Temperaturen und eine damit verbundene Warmfestigkeit, aufweisen. Weiterhin muss das Material für seine Anwendung in einem ASM-Rotor auch eine gute Leitfähigkeit aufweisen. Schließlich muss das Metall bzw. die Metalllegierung eine gute Gießbarkeit aufweisen, damit eine zufriedenstellende Gussqualität erreicht werden kann und auch kompliziertere Rotorformen gegossen werden können. Ist keine ausreichende Gießbarkeit gegeben, können während des komplexen Gussprozesses zahlreiche Fehler wie beispielsweise eine im Guss eingeschlossene Porosität auftreten, was die Qualität des Gusskörpers vermindert und damit dessen mechanische Eigenschaften sowie die elektrische Leitfähigkeit verschlechtert.

Ursprünglich wurde als Material für ASM-Rotoren Aluminium technischer Reinheit vorgesehen. Aluminium in technischer Reinheit (Al99,7) weist zwar eine gute elektrische Leitfähigkeit sowie eine hohe Bruchdehnung auf. Allerdings hat es eine sehr niedrige 0,2 %-Dehngrenze ($R_{p0,2}$) bei höheren Temperaturen sowie eine unzureichende Gießbarkeit.

Ausgehend von Al99,7 wurden daher Anstrengungen unternommen, eine Legierung auf Basis von Aluminium zu entwickeln, die eine höhere Dehngrenze und Warmfestigkeit im Vergleich zu Al99,7 bei gleichzeitig noch guter elektrischer Leitfähigkeit aufweist. Die kommerziell verfügbare Aluminiumlegierung Anticorodal®-71 (auch als Ac-71 oder [AlSi7Mg0,3] bezeichnet und von der Fa. Rheinfelden vertrieben) enthält neben Aluminium noch zusätzlich Silizium (etwa 7 Gew.-%) und Magnesium (etwa 0,4 Gew.-%). Diese in Bezug auf den Si-Gehalt hochlegierte Legierung zeigt eine deutliche Steigerung der Dehngrenze und Zugfestigkeit gegenüber Al99,7 bei noch immer sehr hoher Bruchdehnung und ausreichender Leitfähigkeit.

Darüber hinaus werden derartige Aluminiumlegierungen auch zur Herstellung von Kühlstrukturen verwendet, wobei das entsprechende Anforderungsprofil mit dem von ASM-Rotoren vergleichbar ist. Unter einer Kühlstruktur wird ein Element verstanden, das aufgrund guter Wärmeleiteigenschaften eine Wärmeabfuhr von einem elektrischen Bauteil ermöglicht. Kühlstrukturen auf Basis von Aluminiumlegierungen kommen beispielsweise als integriertes Bauteil in Fahrzeugbatterien für die Elektromobilität zum Einsatz.

Vor diesem Hintergrund liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine Aluminiumlegierung bereitzustellen, die im Vergleich zu herkömmlichen Legierungen eine weiter verbesserte Dehngrenze auch bei hohen Temperaturen und eine damit verbundene Warmfestigkeit, eine hohe elektrische Leitfähigkeit und gleichzeitig eine verbesserte Gießbarkeit aufweist.

Diese Aufgabe wird durch die in den Ansprüchen gekennzeichneten Ausführungsformen gelöst.

Insbesondere wird erfindungsgemäß eine Aluminiumlegierung bereitgestellt, die aus 8,0 – 10,0 Gew.-% Si, 0,10 – 0,35 Gew.-% Mo, 0 – 1,0 Gew.-% Fe, 0 – 0,40 Gew.-% Ce, 0 – 0,03 Gew.-% Sr, 0 – 0,03 Gew.-% Mg, 0 – 0,03 Gew.-% Cu, sowie als Rest Al sowie unvermeidbaren Verunreinigungen besteht, wobei sich die Gew.-% auf 100 Gew.-% in der Legierung ergänzen, und wobei die unvermeidbaren Verunreinigungen in Summe nicht mehr als 0,15 Gew.-% ausmachen und keine einzelne Verunreinigung mehr als 0,03 Gew.-% ausmacht.

Mengenangaben im Rahmen der vorliegenden Erfindung beziehen sich auf Gew.-%, soweit nicht anderweitig angegeben oder aus dem Kontext ersichtlich ist. Im Rahmen der Erfindung ergänzen sich die Gew.-% in einer Legierung oder einem Bauteil zu 100 Gew.-%, so nicht anderweitig angegeben oder aus dem Kontext ersichtlich. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung sind die angegebenen Mengenbereiche so zu verstehen, dass auch die Grenzwerte der angegebenen Bereiche mit eingeschlossen sind.

Die erfindungsgemäße Aluminiumlegierung enthält 8,0 – 10,0 Gew.-% Si, vorzugsweise 8,0 – 9,0 Gew.-% Si. Der Si-Gehalt ist angepasst für eine optimierte Gusslegierung, um so eine gute Gießbarkeit bzw. Formfüllung der Legierung zu ermöglichen.

Die erfindungsgemäße Aluminiumlegierung enthält ferner 0,10 – 0,35 Gew.-% Mo, vorzugsweise 0,10 – 0,20 Gew.-% Mo.

Die erfindungsgemäße Aluminiumlegierung kann ferner 0 – 1,00 Gew.-% Fe, vorzugsweise 0,20 – 1,00 Gew.-% Fe und besonders bevorzugt 0,40 – 0,70 Gew.-% Fe enthalten.

Gemäß der vorliegenden Erfindung wurde überraschend gefunden, dass durch die erfindungsgemäß verwendeten Mengen an Silizium und Molybdän eine Legierung mit einem optimalen Verhältnis aus mechanischen Eigenschaften (Dehngrenze bei hohen Temperaturen bzw. Wärmerissneigung), elektrischer Leitfähigkeit und Verarbeitbarkeit (verbesserte Gießbarkeit und verringerte Klebeneigung) bereitgestellt

wird. Es wurde weiterhin überraschend gefunden, dass durch die Verwendung von Molybdän in den angegebenen Mengen die Klebeneigung der Legierung an der Form während des Gussprozesses weiter reduziert sowie die Duktilität bzw. Bruchdehnung gesteigert wird. Molybdän ist dabei insbesondere geeignet, intermetallischen Phasen (beispielsweise etwaige Fe-haltige intermetallische Phasen wie beta-AlFeSi) hinsichtlich ihrer Morphologie zu sphärodisieren (d.h. zu verrunden) und damit die Duktilität bzw. Bruchdehnung zu steigern.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform enthält die erfindungsgemäße Aluminiumlegierung sowohl Molybdän als auch Eisen. Dabei ist es bevorzugt, dass die Legierung 0,10 – 0,35 Gew.-% Mo und 0,20 – 1,00 Gew.-% Fe, besonders bevorzugt 0,10 – 0,20 Gew.-% Mo und 0,40 – 0,70 Gew.-% Fe enthält.

Die erfindungsgemäße Aluminiumlegierung kann ferner 0 – 0,40 Gew.-% Ce enthalten. Vorzugsweise enthält die Aluminiumlegierung 0,10 – 0,40 Gew.-% Ce und besonders bevorzugt 0,10 – 0,30 Gew.-% Ce. Die Verwendung von Cer in den angegebenen Mengen verbessert weiter die elektrische Leitfähigkeit sowie die Gießbarkeit der Legierung, ohne dabei die mechanischen Eigenschaften der Legierung signifikant zu verschlechtern. Darüber hinaus vermindert die Zugabe von Cer in den angegebenen Mengen auch die Klebeneigung der Legierung an der Form während des Gussprozesses und verbessert somit weiter die Verarbeitbarkeit der Legierung zu einem Bauteil. Auch wird die Wärmerissneigung durch die Zugabe von Cer überraschend vermindert.

Die erfindungsgemäße Aluminiumlegierung kann ferner 0 – 0,03 Gew.-% Sr enthalten. Vorzugsweise enthält die erfindungsgemäße Aluminiumlegierung 0,015 – 0,030 Gew.-% Sr und besonders bevorzugt 0,015 – 0,025 Gew.-% Sr. Dabei dient die Strontium-Zugabe in geringen Mengen von bis zu 300 ppm (0,03 Gew.-%) der Änderung der dreidimensionalen Morphologie der eutektischen Si-Phase in Al–Si Gusslegierungen, was auch als sogenannte chemische (Dauer-)Veredelung der eutektischen Mikrostruktur bezeichnet wird.

In einer bevorzugten Ausführungsform enthält die Aluminiumlegierung Si, Mo, Fe, Ce, und Sr in den angegebenen Mengen. Die erfindungsgemäße Aluminiumlegierung kann zudem 0 – 0,03 Gew.-% Mg enthalten. Die erfindungsgemäße Aluminiumlegierung kann zudem 0 – 0,03 Gew.-% Cu enthalten.

Den Rest der Legierung stellen Aluminium sowie unvermeidbare Verunreinigungen dar, wobei sich die Gew.-% auf 100 Gew.-% in der Legierung ergänzen. Die unvermeidbaren Verunreinigungen machen in Summe nicht mehr als 0,15 Gew.-% aus, vorzugsweise nicht mehr als 0,10 Gew.-%. Jede einzelne Verunreinigung macht dabei nicht mehr als 0,03 Gew.-% aus, vorzugsweise nicht mehr als 0,01 Gew.-%.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform besteht die erfindungsgemäße Legierung aus 8,0 – 9,0 Gew.-% Si, 0,10 – 0,20 Gew.-% Mo, 0 – 1,0 Gew.-% Fe, 0 – 0,40 Gew.-% Ce, 0 – 0,03 Gew.-% Sr, 0 – 0,03 Gew.-% Mg und 0 – 0,03 Gew.-% Cu sowie als Rest aus Al sowie unvermeidbare Verunreinigungen, wobei sich die Gew.-% auf 100 Gew.-% in der Legierung ergänzen, und wobei die unvermeidbaren Verunreinigungen in Summe nicht mehr als 0,15 Gew.-% ausmachen und keine einzelne Verunreinigung mehr als 0,03 Gew.-% ausmacht.

Gemäß einer weiter bevorzugten Ausführungsform besteht die erfindungsgemäße Legierung aus 8,0 – 9,0 Gew.-% Si, 0,10 – 0,20 Gew.-% Mo, 0,40 – 1,0 Gew.-% Fe, 0,10 – 0,40 Gew.-% Ce, 0,015 – 0,030 Gew.-% Sr, 0 – 0,03 Gew.-% Mg und 0 – 0,03 Gew.-% Cu sowie als Rest aus Al sowie unvermeidbare Verunreinigungen, wobei sich die Gew.-% auf 100 Gew.-% in der Legierung ergänzen, und wobei die unvermeidbaren Verunreinigungen in Summe nicht mehr als 0,15 Gew.-% ausmachen und keine einzelne Verunreinigung mehr als 0,03 Gew.-% ausmacht.

Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform besteht die erfindungsgemäße Legierung aus 8,0 – 9,0 Gew.-% Si, 0,10 – 0,20 Gew.-% Mo, 0,40 – 0,70 Gew.-% Fe, 0,10 – 0,30 Gew.-% Ce, 0,015 – 0,025 Gew.-% Sr, 0 – 0,03 Gew.-% Mg und 0 – 0,03 Gew.-% Cu sowie als Rest aus Al sowie unvermeidbare Verunreinigungen, wobei sich die Gew.-% auf 100 Gew.-% in der Legierung ergänzen, und wobei

die unvermeidbaren Verunreinigungen in Summe nicht mehr als 0,15 Gew.-% ausmachen und keine einzelne Verunreinigung mehr als 0,03 Gew.-% ausmacht.

Weiter bevorzugt enthält die Aluminiumlegierung in Summe nicht mehr als 0,10 Gew.-% an unvermeidbaren Verunreinigungen, wobei insbesondere keine einzelne Verunreinigung mehr als 0,01 Gew.-% ausmacht.

Zusammengefasst wurden die Elementgehalte derart angepasst, dass das optimale Verhältnis aus Festigkeit und elektrischer Leitfähigkeit durch die erfindungsgemäßen Aluminiumlegierungen erreicht wird und gleichzeitig die Gießbarkeit verbessert und die Warmrissneigung sowie die Klebeneigung an der Form reduziert wird. Die Anwesenheit von Molybdän reduziert die Klebeneigung und steigert die Duktilität bzw. Bruchdehnung.

Weiterhin betrifft die vorliegende Erfindung noch die Verwendung der erfindungsgemäßen zur Herstellung eines Bauteils, vorzugsweise eines ASM-Rotors oder einer Kühlstruktur. Unter ASM-Rotoren sind die Rotoren von asynchronen Elektroantrieben, insbesondere von Drehstrom-Asynchronmaschinen zu verstehen. Unter Kühlstrukturen werden erfindungsgemäß Bauteile verstanden, die aufgrund guter Wärmeleiteigenschaften eine Wärmeabfuhr von einem elektrischen Bauteil ermöglichen. Die erfindungsgemäßen Kühlstrukturen können beispielsweise als integriertes Bauteil in Fahrzeugbatterien für die Elektromobilität zum Einsatz kommen. Derartige Bauteile weisen häufig eine komplizierte und schwer gießbare Geometrie auf.

Die vorliegende Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Herstellen eines Bauteils, vorzugsweise eines ASM-Rotors oder einer Kühlstruktur, aus der erfindungsgemäßen Aluminiumlegierung, umfassend die folgenden Schritte:

- (a) Erschmelzen der Aluminiumlegierung aus wenigstens einer Vorlegierung und/oder den chemischen Elementen in den entsprechenden Gewichtsverhältnissen,
- (b) Gießen der erschmolzenen Aluminiumlegierung in eine Form,
- (c) Abkühlenlassen oder Abkühlen der in die Form gegossenen Aluminiumlegierung, und

- (d) Wärmebehandeln der abgekühlten Aluminiumlegierung bei einer Temperatur im Bereich von 200°C bis 390°C für eine Dauer von 0,5 bis 6 Stunden.

Gemäß Schritt (a) des Verfahrens wird die erfindungsgemäße Aluminiumlegierung aus wenigstens einer Vorlegierung und/oder den chemischen Elementen in den entsprechenden Gewichtsverhältnissen erschmolzen. Die Aluminiumlegierung kann aus jedweden geeigneten Vorlegierungen oder Elementen erschmolzen werden. Vorzugsweise wird dabei die Aluminiumlegierung aus den reinen Elementen oder den Elementen mit technischer Reinheit (beispielsweise Al99,7) erschmolzen.

Nach Schritt (a) und vor Schritt (b) kann gegebenenfalls eine optionale Stickstoff-Impeller-Behandlung, eine Salzbehandlung und/oder eine Bor-Fällung vorgenommen werden. Diese optionalen Maßnahmen zur Reinigung der Schmelze sind dem Fachmann bekannt.

Bei der Stickstoff-Impeller-Behandlung handelt es sich um eine gängige Schmelzebehandlung im Bereich des Al-Gusses. Dabei wird ein meist aus Graphit bestehender Impeller in die Schmelze eingeführt und dann mit Drehzahlen um ca. 500 rpm für 4 bis 15 Minuten in der Al Schmelze rotiert. Dabei wird durch den Impeller Stickstoff in die Schmelze eingeleitet, welches durch den Impeller-Kopf fein verteilt wird. Durch die feinen Stickstoffblasen in der Schmelze werden Oxide und Wasserstoff gesammelt und an die Badoberfläche geführt. Dort können diese dann als Krätze entfernt werden. Außerdem ist dieser Prozess mit einer Salzbehandlung kombinierbar.

Bei der Bor-Fällung wird der Schmelze gezielt Bor zugegeben, sodass Elemente wie Ti oder V sich zu den jeweiligen Boriden verbinden und in der Schmelze ausfallen können. Dies führt zu einer Reinigung der Legierung und zu einer weiteren Steigerung der Leitfähigkeit, da Ti und V bspw. im Al-Mischkristall gelöst werden und dann das Kristallgitter stören und damit die Leitfähigkeit verschlechtern würden.

Gemäß Schritt (b) des Verfahrens wird die erschmolzene (d.h. flüssige) Aluminiumlegierung in eine Form gegossen. Dazu können alle dem Fachmann bekannten

Formgießverfahren verwendet werden, beispielsweise das Druckgussverfahren, das Niederdruckgussverfahren oder das Zentrifugalgussverfahren. Die Temperatur, bei der das Abgießen erfolgt, kann vom Fachmann in Abhängigkeit vom verwendeten Formgießverfahren in geeigneter Weise gewählt werden, wobei bei zu niedriger Gießtemperatur die Gefahr von unzureichender Formfüllung und Kaltläufen besteht. Das Druckgussverfahren wird vorzugsweise bei einer Temperatur im Bereich von 600°C bis 750°C durchgeführt, besonders bevorzugt bei einer Temperatur von 600°C bis 680°C. Diese besonders bevorzugte Gießtemperatur zwischen 600°C und 680°C ist gerade im Vergleich zu Al99,7 mit einer dort üblichen höheren Gießtemperatur von 700 bis 720°C vorteilhaft. Der Druck beträgt dabei üblicherweise bis zu 1000 bar.

Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der Schritt des Gießens in Form eines Druckgussverfahrens bei einer Temperatur im Bereich von 600°C bis 680°C oder in Form eines Zentrifugalgussverfahrens durchgeführt.

Gemäß Schritt (c) wird die in die Form gegossene Aluminiumlegierung abgekühlt oder abkühlen gelassen. Dazu erfolgt das Abgießen der Aluminiumlegierung beispielsweise in eine temperierte und/oder zwangs- oder vakuumentlüftete Form, besonders bevorzugt in eine temperierte und/oder zwangs- oder vakuumentlüftete Dauerform. Dabei hat die Temperierung der Form den Vorteil, dass durch die Temperierung die Aluminiumlegierung gezielt und gesteuert abgekühlt werden kann und somit die Standzeit des Gusswerkzeugs durch deren Kühlung erhöht wird.

In Schritt (d) des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die abgekühlte Aluminiumlegierung bei einer Temperatur im Bereich von 200°C bis 390°C für eine Dauer von 0,5 bis 6 Stunden wärmebehandelt, beispielsweise in einem Umluftkammerofen. Diese Wärmebehandlung kann direkt in der abgekühlten, aber noch nicht entfernten Gussform erfolgen. Alternativ ist es möglich, zunächst die Gussform zu entfernen und das durch den Guss erhaltene Bauteil direkt wärmezubehandeln. Der Wärmebehandlungsschritt ist vorteilhaft, um die gewünschten Eigenschaften der Legierung zu erreichen. So kann durch die Wärmebehandlung der Mischkristall „gereinigt“ werden und die Legierungselemente scheiden sich aus, so dass die Leitfähigkeit jeweils deutlich

ansteigt. Weiterhin erhöht die Wärmebehandlung die mechanische Festigkeit der Legierung.

Die Wärmebehandlung erfolgt bei einer Temperatur im Bereich von 200°C bis 390°C, vorzugsweise bei einer Temperatur im Bereich von 360°C bis 390°C. Die Wärmebehandlungsdauer beträgt 0,5 bis 6 Stunden, vorzugsweise 0,5 bis 2 Stunden. Die O-Wärmebehandlung erfolgt vorteilhafterweise bei einer Temperatur von 375°C für eine Dauer von 1 Stunde.

Die vorliegende Erfindung betrifft ferner ein Bauteil, welches die erfindungsgemäße Legierung umfasst oder durch das vorstehend beschriebene erfindungsgemäße Verfahren erhältlich ist. Vorzugsweise handelt es sich bei dem Bauteil um ein Bauteil für den Fahrzeug- oder Motorenbau. Besonders bevorzugt handelt es sich bei dem Bauteil um einen ASM-Rotor. Ein anderes bevorzugtes Bauteil ist eine Kühlstruktur, insbesondere mit komplizierter und/oder schwer gießbarer Geometrie.

Wie vorstehend ausgeführt, weist das erfindungsgemäße Bauteil verbesserte mechanische Eigenschaften sowie eine verbesserte elektrische Leitfähigkeit auf.

Dementsprechend kann das Bauteil eine elektrische Leitfähigkeit von mindestens 26 MS/m aufweisen. Besonders bevorzugt liegt die elektrische Leitfähigkeit im Bereich von 26 MS/m bis 34 MS/m, noch bevorzugter im Bereich von 26 MS/m bis 28 MS/m. Die elektrische Leitfähigkeit kann mittels des Wirbelstromprinzips, beispielsweise mit einem FISCHER SIGMASCOPE SMP350, bei einer 240 kHz Prüffrequenz an den Proben bestimmt werden. Die Messung erfolgt nach der Wärmebehandlung bei einer Temperatur im Bereich von 360°C bis 390°C für eine Dauer von 0,5 bis 2 Stunden, insbesondere nach einer O-Wärmebehandlung bei 375°C für 1 Stunde. Wird das Bauteil nach dem vorstehend beschriebenen erfindungsgemäßen Herstellungsverfahren hergestellt, so wurde es bereits in Schritt (d) des Herstellungsverfahrens wärmebehandelt, so dass vor Messung der elektrischen Leitfähigkeit keine weitere Wärmebehandlung durchzuführen ist. Wurde das Bauteil, welches die vorstehend beschriebene erfindungsgemäße Aluminiumlegierung umfasst, mittels eines anderen Herstellungsverfahrens ohne eine entsprechende Wärmebehandlung hergestellt, so

ist diese Wärmebehandlung vor der Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit durchzuführen.

Weiterhin weist das erfindungsgemäße Bauteil vorzugsweise nach der Wärmebehandlung bei einer Temperatur im Bereich von 360°C bis 390°C für eine Dauer von 0,5 bis 2 Stunden eine 0,2%-Dehngrenze $R_{p0,2}$ von mindestens 75 MPa auf. Besonders bevorzugt liegt die 0,2%-Dehngrenze $R_{p0,2}$ im Bereich von 75 bis 90 MPa, noch bevorzugter im Bereich von 80 MPa bis 90 MPa. Die 0,2%-Dehngrenze $R_{p0,2}$ ist erfindungsgemäß bei Raumtemperatur zu bestimmen. Die Messung erfolgt nach der Wärmebehandlung bei einer Temperatur im Bereich von 360°C bis 390°C für eine Dauer von 0,5 bis 2 Stunden, insbesondere nach einer O-Wärmebehandlung bei 375°C für 1 Stunde. Wird das Bauteil nach dem vorstehend beschriebenen erfindungsgemäßen Herstellungsverfahren hergestellt, so wurde es bereits in Schritt (d) des Herstellungsverfahrens wärmebehandelt, so dass vor Messung der elektrischen Leitfähigkeit keine weitere Wärmebehandlung durchzuführen ist. Wurde das Bauteil, welches die vorstehend beschriebene erfindungsgemäße Aluminiumlegierung umfasst, mittels eines anderen Herstellungsverfahrens ohne eine entsprechende Wärmebehandlung hergestellt, so ist diese Wärmebehandlung vor der Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit durchzuführen.

Die mechanischen und elektrischen Eigenschaften der erfindungsgemäßen Bauteile sind auch stabil.

So verringert sich die elektrische Leitfähigkeit auch nach einer weiteren Wärmebehandlung für 500 Stunden bei einer Temperatur von 220°C vorzugsweise um nicht mehr als 10%. Wenn $F_{(T1)}$ die elektrische Leitfähigkeit nach der Wärmebehandlung T1 (gemäß Schritt (d), beispielsweise bei 375°C für 1 Stunde) darstellt und $F_{(T1+T2)}$ die elektrische Leitfähigkeit nach einer weiteren Wärmebehandlung für 500 Stunden bei 220°C darstellt, dann gilt:

$$(F_{(T1)} - F_{(T1+T2)}) / F_{(T1)} \leq 0,1$$

Ebenso verringert sich die 0,2%-Dehngrenze auch nach einer weiteren Wärmebehandlung für 500 Stunden bei einer Temperatur von 220°C vorzugsweise um nicht

mehr als 10%. Wenn $R_{p0,2(T1)}$ die 0,2%-Dehngrenze nach der Wärmebehandlung T1 (gemäß Schritt (d), beispielsweise bei 375°C für 1 Stunde) darstellt und $R_{p0,2(T1+T2)}$ die 0,2%-Dehngrenze nach einer weiteren Wärmebehandlung für 500 Stunden bei einer Temperatur von 220°C, dann gilt:

$$(R_{p0,2(T1)} - R_{p0,2(T1+T2)}) / R_{p0,2(T1)} \leq 0,1$$

Die vorliegende Erfindung wird im Folgenden anhand von Beispielen näher beschrieben. Diese stellen jedoch keine Einschränkung des Schutzbereiches der Erfindung dar.

Beispiele:

Es werden Aluminiumlegierung mit der folgenden chemischen Zusammensetzung (Beispiel 1) hergestellt und mittels eines Druckgussverfahrens mit anschließender Wärmebehandlung bei 375°C für 1 Stunde in ein Bauteil gegossen. Ebenso wird als Vergleich eine Anticorodal®-71-Legierung in gleicher Weise in ein Bauteil gegossen.

	Si [Gew.-%]	Mg [Gew.-%]	Ce [Gew.-%]	Mo [Gew.-%]	Fe [Gew.-%]	Sr [ppm]
Beispiel	8,1	0,01	0,10	0,16	0,55	210
Vergleich (Ac-71)	7	0,4	-	-	< 0,1	180-220

Es zeigt sich, dass die erfindungsgemäße Legierung eine im Vergleich zu Anticorodal®-71 verbesserte Gießbarkeit und ein reduziertes Kleben aufweist. Das entsprechende, erfindungsgemäß erhaltene Bauteil weist eine elektrische Leitfähigkeit > 26 MS/m sowie eine 0,2%-Dehngrenze $R_{p0,2}$ im Bereich von 75 bis 90 MPa auf und zeigt somit in Bezug auf diese Eigenschaften mit Anticorodal®-71 vergleichbare Werte.

Patentansprüche

1. Aluminiumlegierung, bestehend aus
8,0 – 10,0 Gew.-% Si,
0,10 – 0,35 Gew.-% Mo,
0 – 1,0 Gew.-% Fe,
0 – 0,40 Gew.-% Ce,
0 – 0,03 Gew.-% Sr,
0 – 0,03 Gew.-% Mg,
0 – 0,03 Gew.-% Cu,
sowie als Rest Al sowie unvermeidbare Verunreinigungen,
wobei sich die Gew.-% auf 100 Gew.-% in der Legierung ergänzen, und wobei
die unvermeidbaren Verunreinigungen in Summe nicht mehr als 0,15 Gew.-%
ausmachen und keine einzelne Verunreinigung mehr als 0,03 Gew.-% aus-
macht.
2. Aluminiumlegierung nach Anspruch 1, welche
8,0 – 9,0 Gew.-% Si,
0,10 – 0,20 Gew.-% Mo,
0 – 1,0 Gew.-% Fe,
0 – 0,40 Gew.-% Ce,
0 – 0,03 Gew.-% Sr,
0 – 0,03 Gew.-% Mg und
0 – 0,03 Gew.-% Cu aufweist.
3. Aluminiumlegierung nach Anspruch 1 oder 2, welche
0,40 – 0,70 Gew.-% Fe aufweist.
4. Aluminiumlegierung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, welche
0,10 – 0,30 Gew.-% Ce aufweist.
5. Aluminiumlegierung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, welche
0,015 – 0,025 Gew.-% Sr aufweist.

6. Aluminiumlegierung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, welche
8,0 – 9,0 Gew.-% Si,
0,10 – 0,20 Gew.-% Mo,
0,40 – 0,70 Gew.-% Fe,
0,10 – 0,30 Gew.-% Ce,
0,015 – 0,025 Gew.-% Sr,
0 – 0,03 Gew.-% Mg und
0 – 0,03 Gew.-% Cu
enthält.
7. Aluminiumlegierung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, welche in Summe nicht mehr als 0,10 Gew.-% an unvermeidbaren Verunreinigungen aufweist.
8. Verfahren zum Herstellen eines Bauteils, vorzugsweise eines ASM-Rotors oder einer Kühlstruktur, aus der Aluminiumlegierung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, umfassend die folgenden Schritte:
 - (a) Erschmelzen der Aluminiumlegierung aus wenigstens einer Vorlegierung und/oder den chemischen Elementen in den entsprechenden Gewichtsverhältnissen,
 - (b) Gießen der erschmolzenen Aluminiumlegierung in eine Form,
 - (c) Abkühlen lassen oder Abkühlen der in die Form gegossenen Aluminiumlegierung, und
 - (d) Wärmebehandeln der abgekühlten Aluminiumlegierung bei einer Temperatur im Bereich von 200°C bis 390°C für eine Dauer von 0,5 bis 6 Stunden.
9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei der Schritt des Gießens in Form eines Druckgussverfahrens bei einer Temperatur im Bereich von 600°C bis 680°C oder in Form eines Zentrifugalgussverfahrens durchgeführt wird.
10. Bauteil, vorzugsweise ein ASM-Rotor oder eine Kühlstruktur, umfassend die Legierung nach einem der Ansprüche 1 bis 7 oder erhältlich durch das Verfahren nach Anspruch 8 oder 9.

11. Bauteil nach Anspruch 10, welches nach der Wärmebehandlung bei einer Temperatur im Bereich von 360°C bis 390°C für eine Dauer von 0,5 bis 2 Stunden eine elektrische Leitfähigkeit von mindestens 26 MS/m aufweist.
12. Bauteil nach Anspruch 10 oder 11, welches nach der Wärmebehandlung bei einer Temperatur im Bereich von 360°C bis 390°C für eine Dauer von 0,5 bis 2 Stunden eine 0,2%-Dehngrenze $R_{p0,2}$ von 75 – 90 MPa aufweist.
13. Verwendung einer Aluminiumlegierung nach einem der Ansprüche 1 bis 7 zur Herstellung eines Bauteils, vorzugsweise eines ASM-Rotors oder eine Kühlstrukturen.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2023/058922**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER****C22C 1/02**(2006.01)i; **C22C 21/02**(2006.01)i; **C22F 1/043**(2006.01)i; C22C 1/03(2006.01)n

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; C22F; B22D; B21D

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, CHEM ABS Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 103911528 A (DELPHI TECH INC) 09 July 2014 (2014-07-09)	1-3,7-13
A	paragraphs [0001], [0002], [0006], [0018]; claims 1,4,5	4-6



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

12 June 2023

Date of mailing of the international search report

21 June 2023

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Rausch, Elisabeth

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2023/058922

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	103911528	A	09 July 2014	NONE	

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV. C22C1/02 C22C21/02 C22F1/043		
ADD. C22C1/03		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)		
C22C C22F B22D B21D		
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, CHEM ABS Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	CN 103 911 528 A (DELPHI TECH INC)	1-3, 7-13
A	9. Juli 2014 (2014-07-09) Absätze [0001], [0002], [0006], [0018]; Ansprüche 1, 4, 5 -----	4-6
☐ 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		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
12. Juni 2023		21/06/2023
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 Rausch, Elisabeth

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

PCT/EP2023/058922

Im Recherchenbericht
angeführtes Patentdokument

Datum der
Veröffentlichung

Mitglied(er) der
Patentfamilie

Datum der
Veröffentlichung

CN 103911528 A 09-07-2014 KEINE