

(19)



(11)

EP 4 461 835 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
13.11.2024 Patentblatt 2024/46

(21) Anmeldenummer: **23172867.6**

(22) Anmeldetag: **11.05.2023**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
C22B 7/04 (2006.01) **C22B 21/00** (2006.01)
C22C 21/02 (2006.01) **C22F 1/043** (2006.01)
C22C 21/14 (2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
C22C 21/02; C22B 7/04; C22B 21/0092;
C22C 21/14; C22F 1/043

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(71) Anmelder: **Neuman Aluminium Strangpresswerk**
GmbH
3182 Marktl im Traisental (AT)

(72) Erfinder:
• **Niederer, Andreas**
3213 Frankenfels (AT)
• **Pasching, Andreas**
3205 Weinburg (AT)

(74) Vertreter: **Patentanwälte**
Ruff, Wilhelm, Beier, Dauster & Partner mbB
Kronenstraße 30
70174 Stuttgart (DE)

(54) **VERFAHREN ZUM HERSTELLEN EINER ALUMINIUMLEGIERUNG, ALUMINIUMLEGIERUNG, VERFAHREN ZUM HERSTELLEN EINES HALBZEUGS, HALBZEUG, VERFAHREN ZUM HERSTELLEN EINES ENDPRODUKTS, ENDPRODUKT**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen einer Aluminiumlegierung bestehend aus:
- 1,1 Gew.-% bis 2,1 Gew.-% Silizium,
- 0,4 Gew.-% bis 0,8 Gew.-% Eisen,
- 0,2 Gew.-% bis 1,7 Gew.-% Kupfer,
- 0,15 Gew.-% bis 0,8 Gew.-% Mangan,
- 0 Gew.-% bis 0,5 Gew.-%, insbesondere > 0 Gew.-% bis 0,5 Gew.-%, Magnesium,
- 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, insbesondere > 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, Chrom,
- 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, insbesondere > 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, Nickel,
- 0,5 Gew.-% bis 2 Gew.-% Zink,
- 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, insbesondere > 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, Titan,
- 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, insbesondere > 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, Blei,
- 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, insbesondere > 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, Strontium und

- Rest Aluminium sowie optional unvermeidbare Verunreinigungen,
wobei das Verfahren den nachfolgenden Schritt aufweist:
a) Aufschmelzen einer aus einer Müllverbrennungsschlacke gewonnenen oder bereitgestellten Aluminiumfraktion unter Erhalt einer Schmelze der Aluminiumlegierung oder einer Schmelze einer Vorstufe der Aluminiumlegierung oder Umschmelzen einer aus einer Müllverbrennungsschlacke gewonnenen oder bereitgestellten Aluminiumfraktion zu einem Formkörper und Aufschmelzen des Formkörpers unter Erhalt einer Schmelze der Aluminiumlegierung oder einer Schmelze einer Vorstufe der Aluminiumlegierung.
Weiter betrifft die Erfindung eine Aluminiumlegierung, ein Verfahren zum Herstellen eines Halbzeugs, ein Halbzeug, ein Verfahren zum Herstellen eines Endprodukts sowie ein Endprodukt.

EP 4 461 835 A1

Beschreibung

Anwendungsgebiet und Stand der Technik

5 **[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Herstellen einer Aluminiumlegierung, eine Aluminiumlegierung, ein Verfahren zum Herstellen eines Halbzeugs, ein Halbzeug, ein Verfahren zum Herstellen eines Endprodukts sowie ein Endprodukt.

[0002] Die Gewinnung von Aluminiumlegierungen basierend auf einer aus Müllverbrennungsschlacke wiederaufbereiteten Aluminiumfraktion ist grundsätzlich bekannt (M. Gökema et al.: a Method for Assessment of Recyclability of Aluminium from Incinerated Household Waste, The Minerals, Metals & Materials Society 2019, 1359 - 1365; M. Gökema et al.: Characteristic properties and recyclability of the aluminium fraction of MSWI bottom ash, Waste Management 130 (2021), 65 - 73; Kawther W Al-Helal et al.: "Melt Conditioned Direct Chill (MC-DC) Casting of AA-6111 Aluminium Alloy Formulated from Incinerator Bottom Ash (IBA), Recycling 2019, 4, 37, 1 - 9).

[0003] Ferner ist eine siliziumreiche Gussaluminiumlegierung aus der CN 1410572 A bekannt.

15 **[0004]** Problematisch bei den aus dem Stand der Technik bekannten Aluminiumlegierungen, die aus Müllverbrennungsschlacken hergestellt sind, ist jedoch, dass ihnen häufig größere Mengen von Reinaluminium oder Aluminiumschrotten beigemischt werden müssen, damit sie sinnvoll weiterverarbeitet werden können. Dies begegnet jedoch insbesondere unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten, d.h. umweltschonenden Gesichtspunkten, zunehmenden Bedenken.

20 Aufgabe und Lösung

[0005] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein gegenüber den aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren verbessertes, insbesondere nachhaltigeres, Verfahren zum Herstellen einer Aluminiumlegierung, eine gegenüber den aus dem Stand der Technik bekannten Aluminiumlegierungen vorteilhaftere und insbesondere nachhaltigere Aluminiumlegierung, ein gegenüber den aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren verbessertes und insbesondere nachhaltigeres Verfahren zum Herstellen eines Halbzeugs, ein gegenüber den aus dem Stand der Technik bekannten Halbzeugen vorteilhafteres und insbesondere nachhaltigeres Halbzeug, ein gegenüber den aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren verbessertes und insbesondere nachhaltigeres Verfahren zum Herstellen eines Endprodukts sowie ein gegenüber den aus dem Stand der Technik bekannten Endprodukten vorteilhafteres und insbesondere nachhaltigeres Endprodukt bereitzustellen.

[0006] Die Erfindung löst diese Aufgaben durch ein Verfahren zum Herstellen einer Aluminiumlegierung gemäß unabhängigen Anspruch 1, eine Aluminiumlegierung gemäß Beschreibung, ein Verfahren zum Herstellen eines Halbzeugs gemäß Anspruch 7, ein Halbzeug gemäß Anspruch 13, ein Verfahren zum Herstellen eines Endprodukts gemäß Anspruch 14 sowie durch ein Endprodukt gemäß Anspruch 15. Bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche. Der Wortlaut sämtlicher Ansprüche wird hiermit durch ausdrückliche Bezugnahme zum Inhalt der vorliegenden Beschreibung gemacht.

[0007] Gemäß einem ersten Aspekt betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Herstellen einer Aluminiumlegierung bestehend aus:

- 40 - 1,1 Gew.-% bis 2,1 Gew.-% Silizium,
- 0,4 Gew.-% bis 0,8 Gew.-% Eisen,
- 0,2 Gew.-% bis 1,7 Gew.-% Kupfer,
- 45 - 0,15 Gew.-% bis 0,8 Gew.-% Mangan,
- 0 Gew.-% bis 0,5 Gew.-%, insbesondere > 0 Gew.-% bis 0,5 Gew.-%, Magnesium,
- 50 - 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, insbesondere > 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, Chrom,
- 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, insbesondere > 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, Nickel,
- 0,5 Gew.-% bis 2 Gew.-% Zink,
- 55 - 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, insbesondere > 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, Titan,
- 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, insbesondere > 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, Blei,

- 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, insbesondere > 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, Strontium und
- Rest Aluminium sowie optional unvermeidbare Verunreinigungen,

5 wobei das Verfahren den nachfolgenden Schritt aufweist:

a) Aufschmelzen einer aus einer Müllverbrennungsschlacke gewonnenen oder bereitgestellten Aluminiumfraktion unter Erhalt einer Schmelze der Aluminiumlegierung oder einer Schmelze einer Vorstufe der Aluminiumlegierung oder Umschmelzen einer aus einer Müllverbrennungsschlacke gewonnenen oder bereitgestellten Aluminiumfraktion zu einem Formkörper und insbesondere Aufschmelzen des Formkörpers unter Erhalt einer Schmelze der Aluminiumlegierung oder einer Schmelze einer Vorstufe der Aluminiumlegierung.

15 **[0008]** Überraschenderweise stellte sich heraus, dass die vorgenannte Aluminiumlegierung aus Müllverbrennungsschlacke hergestellt werden kann, wobei die hergestellte Aluminiumlegierung ihrerseits zu hochwertigen Halbzeugen, insbesondere hochwertigen Strangpressprodukten, weiterverarbeitet werden kann. Dadurch leistet die Erfindung einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung der Recyclingfähigkeit von Aluminiumlegierungen, der Nachhaltigkeit sowie der Kreislaufwirtschaft.

20 **[0009]** Unter dem Ausdruck "Müllverbrennungsschlacke" soll im Sinne der vorliegenden Erfindung ein durch Verbrennung von Müll, insbesondere häuslichem Müll und/oder industriellem Müll, insbesondere in einer Müllverbrennungsanlage, anfallender Verbrennungsrückstand verstanden werden. Der Verbrennungsrückstand weist neben der Aluminiumfraktion vorzugsweise wenigstens einen weiteren Bestandteil auf oder besteht neben der Aluminiumfraktion vorzugsweise aus wenigstens einem weiteren Bestandteil, der insbesondere ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus mineralische Komponenten, Glas, Oxide, Keramik, Metalle und Kombinationen, insbesondere Mischungen, von wenigstens zwei der vorgenannten weiteren Bestandteile. Die mineralischen Komponenten können ausgewählt sein aus der Gruppe bestehend aus Quarz, Calcit, Gehlenit, Gips, Hamatit, Wollastonit, Kalk, Feldspat und Kombinationen, insbesondere Mischungen, von wenigstens zwei der vorgenannten mineralischen Komponenten. Die Oxide können ausgewählt sein aus der Gruppe bestehend aus Aluminiumoxid, Siliziumoxid, Kalziumoxid, Natriumoxid, Magnesiumoxid, Kaliumoxid, Eisenoxid und Kombinationen, insbesondere Mischungen, von wenigstens zwei der vorgenannten Oxide. Die Metalle können ausgewählt sein aus der Gruppe bestehend aus Eisen, Kupfer, Zink, Blei und Kombinationen, insbesondere Mischungen, vorzugsweise Legierungen, von wenigstens zwei der vorgenannten Metalle.

30 **[0010]** Unter dem Ausdruck "Vorstufe der Aluminiumlegierung" soll im Sinne der vorliegenden Erfindung eine Aluminiumlegierung verstanden werden, die in Bezug auf ihre Zusammensetzung, insbesondere in Bezug auf ihre Legierungselemente oder Legierungsbestandteile und/oder in Bezug auf Anteile ihrer Legierungselemente bzw. Legierungsbestandteile, von der erfindungsgemäß herzustellenden oder erfindungsgemäßen Aluminiumlegierung abweicht.

35 **[0011]** Unter dem Ausdruck "Aluminiumfraktion" soll im Sinne der vorliegenden Erfindung ein stückiges oder körniges Material verstanden werden, das eine Vorstufe der Aluminiumlegierung oder (bereits) die Aluminiumlegierung aufweist oder aus einer Vorstufe der Aluminiumlegierung oder aus der Aluminiumlegierung besteht. Die Vorstufe der Aluminiumlegierung weist - neben Aluminium - vorzugsweise mindestens Silizium, Eisen, Kupfer, Mangan und Zink, insbesondere mindestens Silizium, Eisen, Kupfer, Mangan, Zink und Magnesium oder mindestens Silizium, Eisen, Kupfer, Mangan, Zink und Strontium oder mindestens Silizium, Eisen, Kupfer, Mangan, Zink, Magnesium und Strontium auf oder besteht vorzugsweise aus den vorgenannten Legierungselementen. Insbesondere weist die Vorstufe der Aluminiumlegierung - neben Aluminium - bevorzugt mindestens Silizium, Eisen, Kupfer, Mangan, Zink und mindestens einen weiteren Legierungsbestandteil, ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Magnesium, Chrom, Nickel, Titan, Blei und Strontium, oder mindestens Silizium, Eisen, Kupfer, Mangan, Zink, Magnesium und mindestens einen weiteren Legierungsbestandteil, ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Chrom, Nickel, Titan, Blei und Strontium, oder mindestens Silizium, Eisen, Kupfer, Mangan, Zink, Strontium und mindestens einen weiteren Legierungsbestandteil, ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Magnesium, Chrom, Nickel, Titan und Blei, oder mindestens Silizium, Eisen, Kupfer, Mangan, Zink, Magnesium, Strontium und mindestens einen weiteren Legierungsbestandteil, ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Chrom, Nickel, Titan und Blei, auf oder besteht die Vorstufe der Aluminiumlegierung bevorzugt aus den vorgenannten Legierungselementen. Insbesondere kann die Vorstufe der Aluminiumlegierung (bereits) alle vorgenannten Legierungselemente, d.h. Silizium, Eisen, Kupfer, Mangan, Zink, Magnesium, Chrom, Nickel, Titan, Blei und Strontium, aufweisen oder aus diesen Legierungselementen bestehen. Stücke oder Körner der Aluminiumfraktion können einen Durchmesser von > 0 mm bis 100 mm, insbesondere 1 mm bis 60 mm, vorzugsweise 5 mm bis 50 mm, aufweisen.

50 **[0012]** Unter dem Ausdruck "Durchmesser" soll in Zusammenhang mit der Aluminiumfraktion der größtmögliche Abstand verstanden werden, den zwei gegenüberliegende Punkte auf Außenoberflächen von Stücken oder Körnern der Aluminiumfraktion zueinander haben können.

55 **[0013]** Unter dem Ausdruck "Umschmelzen" soll im Sinne der vorliegenden Erfindung ein Aufschmelzen der Aluminiumfraktion, insbesondere bei einer Temperatur von 680 °C bis 750 °C, und ein Überführen der aufgeschmolzenen

Aluminiumfraktion, insbesondere nach vorherigem Abtrennen von Krätze und/oder Fremdstoffen, insbesondere ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Buntmetalle, Eisen, Eisenlegierungen, Glas, Keramik und Mischungen von wenigstens zwei der vorgenannten Fremdstoffe, in einen Formkörper, insbesondere durch Gießen, verstanden werden.

[0014] Unter dem Ausdruck "Krätze" soll im Sinne der vorliegenden Erfindung eine auf einer Schmelze der Aluminiumfraktion schwimmende feste Schicht aus Oxiden, insbesondere Aluminiumoxid und gegebenenfalls Oxiden von in der Aluminiumlegierung oder der Vorstufe der Aluminiumlegierung enthaltenen Legierungselementen, verstanden werden.

[0015] Unter dem Ausdruck "Formkörper" soll im Sinne der vorliegenden Erfindung ein aus der Aluminiumfraktion durch Umschmelzen hergestelltes Vorprodukt zum Herstellen eines Halbzeugs verstanden werden. Bei dem Formkörper kann es sich beispielsweise um einen Barren (Massel), einen Block oder eine Bramme handeln.

[0016] Unter dem Ausdruck "Bramme" soll im Sinne der vorliegenden Erfindung ein aus der Aluminiumfraktion durch Umschmelzen hergestelltes Vorprodukt zum Herstellen eines Halbzeugs verstanden werden, wobei das Vorprodukt eine Breite und Länge aufweist, die jeweils ein Mehrfaches der Dicke (Höhe) des Vorprodukts betragen.

[0017] Unter dem Ausdruck "Reinaluminium" soll im Sinne der vorliegenden Erfindung Primäraluminium, d.h. mittels Verhüttung hergestelltes Aluminium, verstanden werden, das einen Anteil an elementarem Aluminium von wenigstens 99,5 Gew.-%, insbesondere (wenigstens) 99,7 Gew.-%, aufweist, bezogen auf das Gesamtgewicht des Primär- oder Reinaluminiums. Bei dem Rein- bzw. Primäraluminium kann es sich beispielsweise um das Primär- bzw. Reinaluminium EN-AW 1050A (gemäß DIN EN 573-3) und/oder EN-AW 1070A (gemäß DIN EN 573-3) handeln.

[0018] Unter dem Ausdruck "Aluminiumschrott" sollen im Sinne der vorliegenden Erfindung Aluminiumlegierungen verstanden werden, die als Produktionsabfall (Post-Industrial Residue, PIR) bei aluminiumherstellenden bzw. -verarbeitenden Betrieben und/oder als Abfall bei Endverbrauchern (sogenannte "End-of-Life" Schrotte bzw. Post-Consumer Residue, PCR) anfallen.

[0019] Bevorzugt weist das Silizium einen Anteil von 1,1 Gew.-% bis 2,1 Gew.-%, insbesondere 1,1 Gew.-% bis 1,9 Gew.-%, vorzugsweise 1,1 Gew.-% bis 1,7 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiumlegierung, auf. Der Siliziumanteil hat generell einen Einfluss auf die Duktilität der Aluminiumlegierung. Je größer der Siliziumanteil ist, desto schwerer umformbar ist die Aluminiumlegierung.

[0020] Weiter kann das Eisen einen Anteil von 0,4 Gew.-% bis 0,8 Gew.-%, insbesondere 0,4 Gew.-% bis 0,7 Gew.-%, bevorzugt 0,4 Gew.-% bis 0,6 Gew.-%, aufweisen, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiumlegierung. Insbesondere kann das Eisen einen Anteil von > 0,5 Gew.-% bis 0,8 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiumlegierung, aufweisen. Eisen bildet in Kombination mit Aluminium und Silizium sowie gegebenenfalls Mangan und/oder Chrom Primärphasen, die hart und spröde sind und während eines Glühschritts (Homogenisierung) in eine für eine Warmumformung besser geeignete Morphologie/Struktur überführt werden können. Während eines Glühschritts scheidet sich gelöstes Eisen zum Beispiel als $\text{AlFe}(\text{Mn,Cr})\text{Si}$ -Dispersoide aus, die die Kornstruktur stabilisieren und einen Beitrag zur Festigkeit liefern. Durch beide Typen der $\text{AlFe}(\text{Mn,Cr})\text{Si}$ -Phasen wird ein Teil des Siliziums gebunden, was sich in einer Erhöhung der Solidustemperatur manifestiert.

[0021] Weiter kann das Kupfer einen Anteil von 0,2 Gew.-% bis 1,7 Gew.-%, insbesondere 0,2 Gew.-% bis 1,5 Gew.-%, vorzugsweise 0,3 Gew.-% bis 1,3 Gew.-%, aufweisen, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiumlegierung. Insbesondere kann das Kupfer einen Anteil von > 0,2 Gew.-% bis 1,7 Gew.-%, insbesondere > 0,4 Gew.-% bis 1,7 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiumlegierung, aufweisen. Kupfer bewirkt vorteilhafterweise eine Festigkeitserhöhung der Aluminiumlegierung. Die Festigkeitserhöhung basiert - abhängig vom Kupferanteil - entweder auf einer Mischkristallhärtung oder Ausscheidungshärtung.

[0022] Weiter kann das Mangan einen Anteil von 0,15 Gew.-% bis 0,8 Gew.-%, insbesondere 0,15 Gew.-% bis 0,6 Gew.-%, vorzugsweise 0,15 Gew.-% bis 0,5 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiumlegierung, aufweisen. Insbesondere kann das Mangan einen Anteil von 0,15 Gew.-% bis < 0,6 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiumlegierung, aufweisen. Mangan bildet in Kombination mit Aluminium und Silizium sowie gegebenenfalls Eisen und/oder Chrom Primärphasen, die hart und spröde sind und während eines Glühschritts (Homogenisierung) in eine für eine Warmumformung besser geeignete Morphologie/Struktur überführt werden können. Dabei begünstigt Mangan die Bildung einer sogenannten Alpha- AlFeSi -Phase auch schon während der Erstarrung. Während eines Glühschritts scheidet sich gelöstes Mangan zum Beispiel als $\text{AlFe}(\text{Mn,Cr})\text{Si}$ -Dispersoide aus, die die Kornstruktur stabilisieren und einen Beitrag zur Festigkeit liefern. Durch beide Typen der $\text{AlFe}(\text{Mn,Cr})\text{Si}$ -Phasen wird ein Teil des Siliziums gebunden, was sich sowohl in einer Erhöhung der Solidustemperatur als auch der elektrischen Leitfähigkeit der Aluminiumlegierung manifestiert.

[0023] Weiter kann das Magnesium einen Anteil von 0 Gew.-% bis 0,5 Gew.-%, insbesondere >0 Gew.-% bis 0,5 Gew.-%, vorzugsweise >0 Gew.-% bis 0,4 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiumlegierung, aufweisen. Insbesondere kann das Magnesium einen Anteil von > 0,1 Gew.-% bis 0,2 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiumlegierung, aufweisen. Das Magnesium hat vorteilhafterweise durch Bildung einer intermetallischen (teilkohärenten) Phase mit Silizium einen festigkeitssteigernden Einfluss auf die Aluminiumlegierung. Die vorgenannte festigkeitssteigernde Phase kann teilweise auch Anteile an Kupfer und/oder Aluminium aufweisen.

[0024] Weiter kann das Zink einen Anteil von 0,5 Gew.-% bis 2,0 Gew.-%, insbesondere 0,6 Gew.-% bis 1,9 Gew.-%, vorzugsweise 0,65 Gew.-% bis 1,85 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiumlegierung, aufweisen. Das Zink hat generell einen Einfluss auf die Korrosionsbeständigkeit der Aluminiumlegierung. Je geringer der Zinkanteil ist, desto besser ist die Korrosionsbeständigkeit der Aluminiumlegierung.

[0025] Bevorzugt wird die Aluminiumfraktion, insbesondere in Form einer stückigen oder körnigen Aluminiumfraktion, aus der Müllverbrennungsschlacke gewonnen oder bereitgestellt, indem die Aluminiumfraktion, insbesondere Stücke oder Körner der Aluminiumfraktion, von anderen, insbesondere übrigen, Bestandteilen der Müllverbrennungsschlacke abgetrennt wird. Vorzugsweise handelt es sich bei den anderen, insbesondere übrigen, Bestandteilen der Müllverbrennungsschlacke um einen oder mehrere, insbesondere alle, Bestandteile, die in Zusammenhang der oben gemachten Definition des Begriffs "Müllverbrennungsschlacke" genannt wurden.

[0026] Die Aluminiumfraktion kann von den anderen, insbesondere übrigen, Bestandteilen der Müllverbrennungsschlacke durch eine Trockenbehandlung und/oder Nassbehandlung, insbesondere durch eine Kombination von Trockenbehandlung und Nassbehandlung, der Müllverbrennungsschlacke abgetrennt werden. Die Prinzipien von Trockenbehandlung, Nassbehandlung sowie eventueller Kombination davon sind dem Fachmann an sich bekannt (siehe u.a. Syc et al., "Metal recovery of incineration bottom ash: State-of-the-art and recent developments, J. Hazard. Mat. 393 (2020) 122433), weswegen von weiteren Ausführungen hierzu abgesehen wird.

[0027] Weiter bevorzugt wird die Aluminiumfraktion, insbesondere in Form einer stückigen oder körnigen Aluminiumfraktion, aus der Müllverbrennungsschlacke gewonnen oder bereitgestellt, indem nichtmetallische Anhaftungen von der Aluminiumfraktion, insbesondere von Stücken oder Körnern der Aluminiumfraktion, entfernt werden.

[0028] Bei den nichtmetallischen Anhaftungen kann es sich insbesondere um Asche, Glasscherben, Steine oder Kombinationen von wenigstens zwei der vorgenannten nichtmetallischen Anhaftungen handeln.

[0029] Vorzugsweise wird beim Entfernen der nichtmetallischen Anhaftungen der Durchmesser der Aluminiumfraktion, insbesondere der Stücke oder Körner der Aluminiumfraktion, auf mindestens 60 mm, insbesondere 5 mm bis 60 mm, bevorzugt 6 mm bis 60 mm, weiter bevorzugt 10 mm bis 60 mm, besonders bevorzugt 12 mm bis 60 mm, verringert. Die vorgenannten Durchmesserbereiche haben sich als besonders vorteilhaft im Hinblick auf eine optimierte Schmelzausbeute im Falle einer späteren Weiterverarbeitung der Aluminiumlegierung zu einem Halbzeug herausgestellt.

[0030] Weiter bevorzugt wird das Entfernen der nichtmetallischen Anhaftungen mittels einer Hammermühle durchgeführt.

[0031] Unter dem Begriff "Hammermühle" soll im Sinne der vorliegenden Erfindung ein Gerät zur mechanischen Abtrennung oder Entfernung von nichtmetallischen Anhaftungen, insbesondere von Stücken oder Körnern einer Aluminiumfraktion, verstanden werden.

[0032] Der Formkörper gemäß Schritt a) unterliegt in Bezug auf Form und/oder Größe prinzipiell keinerlei Einschränkungen. Beispielsweise kann es sich bei dem Formkörper um einen Barren (Massel), einen Block, einen Bolzen, eine Bramme oder ein anderes aus der geschmolzenen Aluminiumfraktion gegossenes Vorprodukt zum Herstellen eines Halbzeugs handeln.

[0033] Bevorzugt wird die aus der Müllverbrennungsschlacke gewonnene oder bereitgestellte Aluminiumfraktion beim Durchführen von Schritt a) aufgeschmolzen, von Krätze und/oder Fremdstoffen, insbesondere ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Buntmetalle, Eisen, Eisenlegierungen, Glas, Keramik und Mischungen von wenigstens zwei der vorgenannten Fremdstoffe, befreit und anschließend in einen Formkörper, insbesondere durch Gießen, überführt. Dadurch kann vorteilhafterweise eine Beeinträchtigung der weiteren Verarbeitung der (herzustellenden) Aluminiumlegierung, insbesondere zu einem Halbzeug, vermieden werden. Gegebenenfalls kann die aufgeschmolzene Aluminiumfraktion, insbesondere vor oder nach dem Befreien von Krätze und/oder Fremdstoffen, gerührt, insbesondere mechanisch gerührt, werden. Dadurch kann vorteilhafterweise eine homogene Schmelze erhalten werden.

[0034] Das Umschmelzen gemäß Schritt a) hat den Vorteil, dass etwaige Verunreinigungen und/oder etwaige unerwünschte Bestandteile, wie insbesondere nichtmetallische Bestandteile, Eisen und dergleichen, insbesondere durch mechanische Abtrennung, besonders gut entfernt werden können, die ansonsten eine weitere Verarbeitung der (herzustellenden) Aluminiumlegierung, insbesondere zu einem Halbzeug, beeinträchtigen könnten.

[0035] In weiterer Ausgestaltung der Erfindung weist das Verfahren ferner einen Schritt b) auf:

b) Beimengen von Reinaluminium und/oder Aluminiumschrott zu der Schmelze der Aluminiumlegierung oder zu der Schmelze der Vorstufe der Aluminiumlegierung und/oder

[0036] Beimengen von Magnesium und/oder Strontium und/oder Mangan zu der Schmelze der Aluminiumlegierung oder zu der Schmelze der Vorstufe der Aluminiumlegierung.

[0037] Bevorzugt wird die Schmelze der Aluminiumlegierung oder die Schmelze der Vorstufe der Aluminiumlegierung mit einem inerten Gas, beispielsweise Argon oder Stickstoff, gespült. Dadurch kann vorteilhafterweise der Wasserstoffgehalt in der Schmelze reduziert und etwaige weitere Verunreinigungen können aufgeschwemmt und anschließend entfernt werden.

[0038] In weiterer Ausgestaltung der Erfindung werden/wird beim Durchführen von Schritt b) das Reinaluminium

und/oder der Aluminiumschrott in einer Menge der Schmelze der Aluminiumlegierung oder der Schmelze der Vorstufe der Aluminiumlegierung beigemengt, dass das beigemengte Reinaluminium und/oder der beigemengte Aluminiumschrott einen Anteil von ≤ 50 Gew.-%, bevorzugt < 50 Gew.-%, insbesondere ≤ 25 Gew.-%, bevorzugt < 25 Gew.-%, vorzugsweise ≤ 10 Gew.-%, bevorzugt < 10 Gew.-%, aufweisen/aufweist, bezogen auf das Gesamtgewicht der (herzustellenden) Aluminiumlegierung.

[0039] Die Erfindung beruht auf dem weiteren überraschenden Befund, dass eine aus der Müllverbrennungsschlacke gewonnene oder bereitgestellte Aluminiumlegierung entweder überhaupt nicht mit Reinaluminium und/oder Aluminiumschrott oder lediglich mit einem vergleichsweise geringen Anteil an Reinaluminium und/oder Aluminiumschrott "verdünnt" werden muss, um daraus eine qualitativ hochwertige Aluminiumlegierung herstellen zu können, die ihrerseits für die Herstellung eines qualitativ hochwertigen Halbzeugs verwendet werden kann. Dadurch kann vorteilhafterweise der Einsatz von klimaschädlichem Reinaluminium signifikant reduziert werden.

[0040] Insbesondere kann zum Durchführen von Schritt b) das Rein- bzw. Primäraluminium EN-AW 1050A und/oder EN-AW 1070A verwendet werden.

[0041] Unter dem Begriff "EN-AW 1050A" soll im Sinne der vorliegenden Erfindung - im Einklang mit DIN EN 573-3 - Rein- bzw. Primäraluminium aufweisend oder bestehend aus 99,5 Gew.-% Aluminium, höchstens 0,25 Gew.-% Silizium, höchstens 0,4 Gew.-% Eisen, höchstens 0,05 Gew.-% Kupfer, höchstens 0,05 Gew.-% Mangan, höchstens 0,05 Gew.-% Magnesium, höchstens 0,07 Gew.-% Zink und höchstens 0,05 Gew.-% Titan, bezogen auf das Gesamtgewicht des Rein- bzw. Primäraluminiums, verstanden werden.

[0042] Unter dem Begriff "EN-AW 1070A" soll im Sinne der vorliegenden Erfindung - im Einklang mit DIN EN 573-3 - Rein- bzw. Primäraluminium aufweisend oder bestehend aus 99,7 Gew.-% Aluminium, höchstens 0,03 Gew.-% Kupfer, höchstens 0,25 Gew.-% Eisen, höchstens 0,03 Gew.-% Magnesium, höchstens 0,03 Gew.-% Mangan, höchstens 0,2 Gew.-% Silizium, höchstens 0,03 Gew.-% Titan und höchstens 0,07 Gew.-% Zink, bezogen auf das Gesamtgewicht des Rein- bzw. Primäraluminiums, verstanden werden.

[0043] In weiterer Ausgestaltung der Erfindung werden/wird der Schmelze der Aluminiumlegierung oder der Schmelze der Vorstufe der Aluminiumlegierung kein Reinaluminium und/oder kein Aluminiumschrott beigemengt. Hierbei handelt es sich um eine besonders umweltschonende Ausgestaltung des Verfahrens, da insbesondere vollständig auf den Einsatz von klimaschädlichem Reinaluminium und/oder von unter Klimagesichtspunkten nicht vollständig unproblematischem Aluminiumschrott verzichtet werden kann.

[0044] Beim Durchführen von Schritt b) kann das Magnesium in elementarer Form und/oder als Bestandteil einer Legierung und/oder eines Schrotts der Schmelze der Aluminiumlegierung oder der Schmelze der Vorstufe der Aluminiumlegierung beigemengt werden. Bei der Legierung, die der Schmelze der Aluminiumlegierung oder der Schmelze der Vorstufe der Aluminiumlegierung beigemengt wird, kann es sich beispielsweise um eine Al-Mg-Vorlegierung, d.h. eine Vorlegierung, die Aluminium und Magnesium als Legierungsbestandteile aufweist oder aus Aluminium und Magnesium als Legierungsbestandteile besteht, handeln. Bei dem Schrott kann es sich beispielsweise um 5xxx-Schrott handeln, insbesondere mit einem Anteil von Magnesium von $> 2,5$ Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht des 5xxx-Schrotts.

[0045] Unter dem Ausdruck "Vorlegierung" soll im Sinne der vorliegenden Erfindung eine Legierung verstanden werden, die als solche nicht unmittelbar zu einem Endprodukt verarbeitet wird, sondern dazu verwendet wird, den Anteil eines Legierungselementes, wie beispielsweise von Magnesium und/oder Strontium, in einer Schmelze einzustellen oder zu erhöhen. Vorlegierungen werden insbesondere zur Einstellung bzw. Erhöhung von Anteilen von Legierungselementen in einer Schmelze verwendet, die einen sehr hohen Schmelzpunkt besitzen und/oder eine starke Oxidationsneigung aufweisen und daher nicht in elementarer Reinform der Schmelze zugegeben werden können.

[0046] Unter dem Begriff "5xxx-Schrott" soll im Sinne der vorliegenden Erfindung Schrott (PIR und/oder PCR) aus Aluminium-Magnesium-Legierungen, d.h. Legierungen, die Aluminium und Magnesium als Legierungsbestandteile aufweisen oder aus Aluminium und Magnesium als Legierungsbestandteile bestehen, (5000er Reihe nach EN 573), beispielsweise in Form von Automobilblechen, verstanden werden.

[0047] In weiterer Ausgestaltung der Erfindung wird beim Durchführen von Schritt b) das Magnesium in einer Menge der Schmelze der Aluminiumlegierung oder der Schmelze der Vorstufe der Aluminiumlegierung beigemengt, dass das Magnesium einen Anteil von höchstens 0,5 Gew.-%, insbesondere 0,15 Gew.-% bis 0,5 Gew.-%, bevorzugt 0,2 Gew.-% bis 0,4 Gew.-%, aufweist, bezogen auf das Gesamtgewicht der (herzustellenden) Aluminiumlegierung.

[0048] Das Beimengen von Magnesium zu der Schmelze der Aluminiumlegierung oder der Schmelze der Vorstufe der Aluminiumlegierung hat vorteilhafterweise einen festigkeitssteigernden Einfluss auf die (herzustellende) Aluminiumlegierung.

[0049] Weiter kann beim Durchführen von Schritt b) das Strontium in elementarer Form und/oder als Bestandteil einer Legierung, insbesondere Vorlegierung, der Schmelze der Aluminiumlegierung oder der Schmelze der Vorstufe der Aluminiumlegierung beigemengt werden.

[0050] Insbesondere kann beim Durchführen von Schritt b) das Strontium als Bestandteil einer AlSr5-Vorlegierung, AlSr10-Vorlegierung oder AlSr15-Vorlegierung der Schmelze der Aluminiumlegierung oder der Schmelze der Vorstufe

der Aluminiumlegierung beigemischt werden.

[0051] Unter dem Ausdruck "AlSr5-Vorlegierung" soll im Sinne der vorliegenden Erfindung eine Aluminiumlegierung mit einem Strontium-Anteil von 5 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiumlegierung, verstanden werden. Unter dem Ausdruck "AlSr10-Vorlegierung" soll im Sinne der vorliegenden Erfindung eine Aluminiumlegierung mit einem Strontium-Anteil von 10 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiumlegierung, verstanden werden. Unter dem Ausdruck "AlSr15-Vorlegierung" soll im Sinne der vorliegenden Erfindung eine Aluminiumlegierung mit einem Strontium-Anteil von 15 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiumlegierung, verstanden werden.

[0052] In weiterer Ausgestaltung der Erfindung wird beim Durchführen von Schritt b) das Strontium in einer Menge der Schmelze der Aluminiumlegierung oder der Schmelze der Vorstufe der Aluminiumlegierung beigemischt, dass das Strontium einen Anteil von höchstens 0,1 Gew.-%, insbesondere 0,01 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, aufweist, bezogen auf das Gesamtgewicht der (herzustellenden) Aluminiumlegierung.

[0053] Sofern beim Durchführen des Schritts b) sowohl ein Beimengen von Reinaluminium und/oder Aluminiumschrott als auch ein Beimengen von Magnesium zu der Schmelze der Aluminiumlegierung oder der Schmelze der Vorstufe der Aluminiumlegierung vorgesehen sind/ist, können/kann grundsätzlich zuerst das Reinaluminium und/oder der Aluminiumschrott oder das Magnesium beigemischt werden oder umgekehrt. Im Hinblick auf seine Oxidationsneigung und/oder Verdampfbarkeit kann es jedoch bevorzugt sein, wenn das Magnesium so spät wie möglich, insbesondere nach dem Beimengen des Reinaluminiums und/oder Aluminiumschrotts, der Schmelze der Aluminiumlegierung oder der Schmelze der Vorstufe der Aluminiumlegierung beigemischt wird.

[0054] Weiter kann beim Durchführen von Schritt b) das Mangan als Bestandteil einer Legierung, insbesondere Vorlegierung, der Schmelze der Aluminiumlegierung oder der Schmelze der Vorstufe der Aluminiumlegierung beigemischt werden.

[0055] Insbesondere kann beim Durchführen von Schritt b) das Mangan als Bestandteil einer AlMn10-Vorlegierung, AlMn20-Vorlegierung oder AlMn25-Vorlegierung der Schmelze der Aluminiumlegierung oder der Schmelze der Vorstufe der Aluminiumlegierung beigemischt werden.

[0056] Unter dem Ausdruck "AlMn10-Vorlegierung" soll im Sinne der vorliegenden Erfindung eine Aluminiumlegierung mit einem Mangan-Anteil von 10 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiumlegierung, verstanden werden. Unter dem Ausdruck "AlMn20-Vorlegierung" soll im Sinne der vorliegenden Erfindung eine Aluminiumlegierung mit einem Mangan-Anteil von 20 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiumlegierung, verstanden werden. Unter dem Ausdruck "AlMn25-Vorlegierung" soll im Sinne der vorliegenden Erfindung eine Aluminiumlegierung mit einem Mangan-Anteil von 25 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiumlegierung, verstanden werden.

[0057] Bevorzugt wird beim Durchführen von Schritt b) das Mangan in einer Menge der Schmelze der Aluminiumlegierung oder der Schmelze der Vorstufe der Aluminiumlegierung beigemischt, dass das Mangan einen Anteil von höchstens 0,8 Gew.-%, insbesondere 0,15 Gew.-% bis 0,8 Gew.-%, aufweist, bezogen auf das Gesamtgewicht der (herzustellenden) Aluminiumlegierung.

[0058] Weiter kann das Verfahren nach Durchführen von Schritt b) ferner einen Schritt c) aufweisen:
c) Gießen der Aluminiumlegierung in eine Form.

[0059] Bezüglich der Form, in die die Aluminiumlegierung gemäß Schritt c) gegossen werden kann, wird auf die in Zusammenhang des Formkörpers beschriebenen Formen Bezug genommen, die sinngemäß gelten.

[0060] Gemäß einem zweiten Aspekt betrifft die Erfindung eine Aluminiumlegierung, hergestellt oder herstellbar nach einem Verfahren gemäß erstem Erfindungsaspekt, und/oder bestehend aus:

- 1,1 Gew.-% bis 2,1 Gew.-% Silizium,
- 0,4 Gew.-% bis 0,8 Gew.-% Eisen,
- 0,2 Gew.-% bis 1,7 Gew.-% Kupfer,
- 0,15 Gew.-% bis 0,8 Gew.-% Mangan,
- 0 Gew.-% bis 0,5 Gew.-%, insbesondere > 0 Gew.-% bis 0,5 Gew.-%, Magnesium,
- 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, insbesondere > 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, Chrom,
- 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, insbesondere > 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, Nickel,
- 0,5 Gew.-% bis 2 Gew.-% Zink,
- 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, insbesondere > 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, Titan,

- 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, insbesondere > 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, Blei,
- 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, insbesondere > 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, Strontium und
- 5 - Rest Aluminium sowie optional unvermeidbare Verunreinigungen.

[0061] Bezüglich weiterer Merkmale und Vorteile der Aluminiumlegierung, insbesondere in Bezug auf ihre Bestandteile, wird vollständig auf die im Rahmen des ersten Erfindungsaspekts gemachten Ausführungen Bezug genommen, die sinngemäß gelten.

10 **[0062]** Gemäß einem dritten Aspekt betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Herstellen eines Halbzeugs, insbesondere eines stranggepressten Halbzeugs, d.h. eines Halbzeugs, das mit Hilfe eines Strangpressschritts hergestellt ist. Das Verfahren weist, insbesondere in zeitlicher Reihenfolge, die nachfolgenden Schritte auf:

15 a) Herstellen einer Aluminiumlegierung nach einem Verfahren gemäß erstem Erfindungsaspekt oder Bereitstellen einer Aluminiumlegierung gemäß zweitem Erfindungsaspekt,

b) Gießen, insbesondere Stranggießen, der Aluminiumlegierung, insbesondere einer Schmelze der Aluminiumlegierung, zu einem Gussbarren und

20 c) Strangpressen des Gussbarrens zu dem Halbzeug.

[0063] Bei dem herzustellenden Halbzeug handelt es sich vorzugsweise um einen Stab, eine Stange, einen Draht, ein Rohr oder ein Profil, insbesondere Kühlkörperprofil oder Konstruktionsprofil, insbesondere Vollprofil, Halbvollprofil, Hohlkammerprofil, Montageprofil oder Nutenprofil.

25 **[0064]** Bevorzugt wird vor dem Durchführen von Schritt b) ein Kornfeiner zu der Aluminiumlegierung hinzugegeben. Dadurch kann vorteilhafterweise der Korndurchmesser des Gussgefüges kontrolliert und homogen gehalten werden. Insbesondere kann durch die Zugabe des Kornfeiners der Korndurchmesser des Gussgefüges kleiner 300 µm, insbesondere auf 50 µm bis 250 µm, gehalten werden.

30 **[0065]** Unter dem Ausdruck "Kornfeiner" soll im Sinne der vorliegenden Erfindung ein Material zur Erzielung eines möglichst gleichmäßigen und geringen Korndurchmessers im Gefüge. Dies bedeutet vorteilhafterweise weniger Heißrissneigung beim Durchführen von Schritt b) und dadurch eine höhere Gießleistung. Weiter wirkt sich ein gleichmäßiger und geringer Korndurchmesser positiv auf die Duktilität und Oberflächenqualität des herzustellenden Halbzeugs aus.

35 **[0066]** Der Kornfeiner kann kornfeinend wirkende Partikel und Aluminium als Träger für die kornfeinend wirkenden Partikel aufweisen. Vorzugsweise sind die kornfeinend wirkenden Partikel in dem Aluminium eingebettet. Bei den kornfeinenden Partikeln kann es sich beispielsweise um Titandiborid-Partikel (TiB₂-Partikel) oder Aluminiumkarbid-Partikel (Al₄C₃-Partikel) handeln.

[0067] Weiter kann der Kornfeiner in Form eines Drahts, insbesondere kontinuierlich oder diskontinuierlich, der Aluminiumlegierung zugegeben werden. Weiter kann der Draht insbesondere einen Durchmesser von ca. 10 mm aufweisen.

40 **[0068]** Weiter bevorzugt wird der Schritt b) bei einer Temperatur von 700 °C bis 750 °C durchgeführt.

[0069] In weiterer Ausgestaltung der Erfindung weist das Verfahren ferner zwischen dem Schritt b) und dem Schritt c) einen Schritt bc)₁ auf:

bc)₁ Glühen, insbesondere Hochglühen, des Gussbarrens.

45 **[0070]** Unter dem Ausdruck "Glühen" soll im Sinne der vorliegenden Erfindung ein Anwärmen, Durchwärmen und Abkühlen des Gussbarrens verstanden werden.

[0071] Unter dem Ausdruck "Hochglühen" soll im Sinne der vorliegenden Erfindung ein Homogenisieren des Gussbarrens verstanden werden.

50 **[0072]** Durch den Schritt bc)₁ können vorteilhafterweise sogenannte Korn-Seigerungen des Gussbarrens, d.h. Entmischungen im Korn, abgebaut werden, durch den Gießprozess bedingte Eigenspannungen abgebaut werden, eisenhaltige Primärphasen transformiert werden (insbesondere eine nadelförmige Morphologie in eine kugelige Morphologie geändert und dadurch die Duktilität erhöht werden), eisenhaltige Sekundärphasen ("Dispersoide") ausgeschieden werden (und dadurch das Korngefüge stabilisiert, also die Rekristallisationsschwelle nach oben gesetzt werden) und weitere Phasen in nicht-passender Form (insbesondere in Bezug auf Struktur und/oder Größe und/oder Position und/oder Solvus-Temperatur) aufgelöst werden. Dadurch wird die Aluminiumlegierung vorteilhafterweise umformbar.

55 **[0073]** In weiterer Ausgestaltung der Erfindung wird beim Durchführen von Schritt bc)₁ der Gussbarren mit einer Heizgeschwindigkeit von 1,5 K/min bis 5 K/min, insbesondere 2 K/min bis 4 K/min, erwärmt, bei einer Temperatur von 480 °C bis 580 °C, insbesondere 490 °C bis 570 °C, während eines Zeitraums von 2 h bis 8 h, bevorzugt 3 h bis 6 h, gehalten und anschließend mit einer Abkühlungsgeschwindigkeit von 100 K/h bis 1000 K/h, insbesondere 150 K/h bis

900 K/h, bevorzugt 250 K/h bis 800 K/h, auf eine Temperatur von $\leq 250^\circ\text{C}$, insbesondere $< 250^\circ\text{C}$ abgekühlt. Das Abkühlen kann mit Luft, insbesondere bewegter Luft, erfolgen. Die in diesem Abschnitt offenbarte Heizgeschwindigkeit hat den Vorteil, dass eine Ausscheidung von Dispersoiden in kleiner und homogen verteilter Form begünstigt und gleichzeitig Durchlaufzeiten in einem zum Durchführen von Schritt bc)₁ verwendeten Ofen kurz gehalten werden können.

Die in diesem Abschnitt offenbarte Abkühlungsgeschwindigkeit hat einerseits den Vorteil, dass sie zu keiner Bildung von groben Sekundärphasen (Silizium, Mg_2Si , AlCu_2 , etc.) führt, welche bei einem Vorwärmen für das Strangpressen bzw. beim Strangpressen des Gussbarrens selbst nicht aufgelöst werden und daher nicht festigkeitssteigernd wirken können. Andererseits hat die offenbarte Abkühlungsgeschwindigkeit den Vorteil, dass die Bildung eines stark übersättigten Mischkristalls vermieden werden kann, welcher durch einen erhöhten Umformwiderstand gekennzeichnet und mithin schwieriger strangzupressen ist.

[0074] In weiterer Ausgestaltung der Erfindung weist das Verfahren ferner zwischen dem Schritt b) und dem Schritt c), insbesondere nach dem Schritt bc)₁, einen Schritt bc)₂ auf:

bc)₂ Erwärmen, insbesondere Vorwärmen, des Gussbarrens, insbesondere auf eine Temperatur von 400°C bis 520°C , bevorzugt 415°C bis 510°C , besonders bevorzugt 430°C bis 500°C .

Durch den Schritt bc)₂ können vorteilhafterweise Phasen, die während des Abkühlens beim Durchführen von Schritt bc)₁ entstehen, teilweise aufgelöst und vor allem die Fließspannung der Aluminiumlegierung reduziert werden, wodurch insbesondere komplexe Geometrien beim Durchführen von Schritt c) hergestellt werden können.

[0076] Bevorzugt unterscheidet sich die Temperatur, bei der der erwärmte Gussbarren beim Durchführen von Schritt bc)₁ gehalten wird, von der Temperatur, auf die der Gussbaren beim Durchführen von Schritt bc)₂ erwärmt, insbesondere vorgewärmt, wird.

[0077] In weiterer Ausgestaltung der Erfindung weist das Verfahren ferner einen Schritt d) auf:

d) Abkühlen des Halbzeugs, insbesondere mittels Luft, insbesondere bewegter Luft, und/oder Wasser.

[0078] Bevorzugt wird der Schritt d) mittels Wasserabschreckung durchgeführt. Hierbei wird das Halbzeug mittels Wasser, insbesondere Wasserspray, direkt abgekühlt. Bei dem Abkühlen des Halbzeugs mit Wasser kann eine Abkühlgeschwindigkeit von mehreren 100 K/s, insbesondere 5 K/s bis 100 K/s, erreicht werden. Bei dem Abkühlen des Halbzeugs mit Luft kann eine Abkühlgeschwindigkeit von bis zu > 1 K/s, insbesondere 0,5 K/s bis 5 K/s, erreicht werden.

Durch den Schritt d) lassen sich vorteilhafterweise einerseits eine vorzeitige Ausscheidungsbildung in der Aluminiumlegierung und mithin zu geringe Festigkeiten verhindern und andererseits Wärmespannungen (Eigenspannungen) im Halbzeug vermeiden, die sich in Verzug, Beulen etc., äußern können. Durch den Schritt d) ist insbesondere das Herstellen eines maßhaltigen Halbzeugs mit einem Gefüge als (teilweise) übersättigten Mischkristall erzielbar.

[0080] In weiterer Ausgestaltung der Erfindung weist das Verfahren ferner einen Schritt e) auf:

e) Recken, d.h. Strecken oder Längsverformen, des Halbzeugs, insbesondere abgekühlten Halbzeugs.

Dadurch können vorteilhafterweise Fehlstellen (Störungen in der Regelmäßigkeit des Kristallgitters der Aluminiummatrix) erzeugt werden, die einen optional anschließend durchgeführten Tempersschritt beschleunigen. Durch die plastische Verformung beim Recken wird zum einen das Halbzeug gerade gerichtet (Geradheitstoleranz) und zum anderen werden sogenannte Versetzungen (Fehlstellen im Kristallgitter) erzeugt, die schnellere Diffusionswege für Legierungselemente und Leerstellen ermöglichen und daher die Ausscheidungskinetik bei einem optionalen Tempern (Warmauslagern) beschleunigen.

[0082] In weiterer Ausgestaltung der Erfindung weist das Verfahren ferner einen Schritt f) auf:

f) Tempern, d.h. Wärmebehandeln, des Halbzeugs, insbesondere gereckten, insbesondere gestreckten oder längsverformten, Halbzeugs, insbesondere bei einer Temperatur von 100°C bis 200°C , bevorzugt 120°C bis 200°C , vorzugsweise 140°C bis 190°C .

Zum Durchführen von Schritt f) kann das Halbzeug insbesondere mit einer Heizgeschwindigkeit von 1 K/min bis 5 K/min, insbesondere 1 K/min bis 3 K/min, erwärmt werden.

Weiter bevorzugt wird der Schritt f) während einer Zeit von 2h bis 6h, insbesondere 3h bis 5h, durchgeführt.

Beim Tempern wird die Ausscheidungsbildung gezielt angeregt. Durch die vergleichsweise geringen Temperaturen bilden sich andere Phasen (mehr Phasen und kleinere Phasen, kohärente bis semi-kohärente Phasen anstatt inkohärenter Phasen) an anderen Positionen (auch im Korninneren anstatt nur an Korngrenzen bzw. intermetallischen Phasen bzw. Versetzungen) im Korngefüge, was zu einem Festigkeitsanstieg ("Ausscheidungshärtung") im Material führt.

Alternativ kann es erfindungsgemäß bevorzugt sein, dass das Halbzeug, insbesondere gereckte, insbesondere gestreckte oder längsverformte, Halbzeug, nicht getempert wird. Dies kann insbesondere der Fall sein, wenn in Bezug auf das herzustellende Halbzeug keine Festigkeitsanforderungen bestehen.

[0087] Das Verfahren kann ferner einen Schritt g) aufweisen:

g) Bearbeiten, insbesondere Beschichten, Lackieren, Anodisieren, Biegen, Stanzen, Durchsetzfügen, Drehen oder Fräsen, des Halbzeugs, insbesondere getemperten Halbzeugs.

Unter dem Begriff "Durchsetzfügen" soll im Sinne der vorliegenden Erfindung ein Verfahren zum Verbinden von Blech- und/oder Rohr- und/oder Profilverteilen ohne Verwendung eines Zusatzwerkstoffs verstanden werden. Das

Durchsetzfugen kann im Sinne der vorliegenden Erfindung auch als Toxen, Eigenmaterialnieten oder Clinchen bezeichnet werden.

[0089] Neben den bereits unter dem ersten Erfindungsaspekt beschriebenen Vorteilen, die sinngemäß auch für das Verfahren gemäß drittem Erfindungsaspekt gelten, zeichnet sich Letzteres vorteilhafterweise zusätzlich dadurch aus, dass das Halbzeug zu geringeren Kosten sowie unter reduzierten Kohlendioxid-Emissionen herstellbar ist.

[0090] Bezüglich weiterer Merkmale und Vorteile des Verfahrens, insbesondere in Bezug auf die Aluminiumlegierung sowie das Halbzeug, wird zum Zwecke der Vermeidung von Wiederholungen vollständig auf die im Rahmen des ersten und zweiten Erfindungsaspekts gemachten Ausführungen Bezug genommen. Die dort, insbesondere in Bezug auf die Aluminiumlegierung sowie das Halbzeug, beschriebenen Merkmale und Vorteile gelten sinngemäß auch für das Verfahren gemäß drittem Erfindungsaspekt.

[0091] Gemäß einem vierten Aspekt betrifft die Erfindung ein Halbzeug, das nach einem Verfahren gemäß drittem Erfindungsaspekt hergestellt oder herstellbar ist. Vorteilhafterweise zeichnet sich das Halbzeug gegenüber bekannten Halbzeugen durch eine höhere Bruchdehnung/Duktilität aus.

[0092] Bezüglich weiterer Merkmale und Vorteile des Halbzeugs wird zum Zwecke der Vermeidung von Wiederholungen vollständig auf die im Rahmen der bisherigen Erfindungsaspekte gemachten Ausführungen Bezug genommen. Die dort, insbesondere in Bezug auf das Halbzeug, beschriebenen Merkmale und Vorteile gelten sinngemäß auch für das Halbzeug gemäß viertem Erfindungsaspekt.

[0093] Gemäß einem fünften Aspekt betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Herstellen eines Endprodukts, wobei das Endprodukt aus einem Halbzeug gemäß viertem Erfindungsaspekt und optional einer weiteren Komponente oder mehreren weiteren Komponenten hergestellt wird oder wobei das Verfahren, insbesondere in zeitlicher Reihenfolge, die nachfolgenden Schritte aufweist:

a) Herstellen eines Halbzeugs gemäß drittem Erfindungsaspekt und

b) Herstellen des Endprodukts aus dem Halbzeug und optional einer weiteren Komponente oder mehreren weiteren Komponenten. Bei dem Endprodukt kann es sich insbesondere um Fassaden, Dachentwässerungsprofile, Möbel wie Büromöbel, Zäune wie Gartenzäune, Geländer oder Fensterprofile handeln. Weiter kann es sich bei dem Endprodukt um eine Komponente, insbesondere ein Einzel- oder Bauteil oder eine Bauteilgruppe, einer Maschine oder Anlage, wie beispielsweise Führungen, Systemprofile oder Kühlkörper, oder um eine Maschine oder Anlage handeln.

[0094] Bezüglich weiterer Merkmale und Vorteile des Verfahrens, insbesondere in Bezug auf das Halbzeug, wird zum Zwecke der Vermeidung von Wiederholungen vollständig auf die im Rahmen der bisherigen Erfindungsaspekte gemachten Ausführungen Bezug genommen. Die dort, insbesondere in Bezug auf das Halbzeug, beschriebenen Merkmale und Vorteile gelten sinngemäß auch für das Verfahren gemäß fünftem Erfindungsaspekt.

[0095] Gemäß einem sechsten Erfindungsaspekt betrifft die Erfindung ein Endprodukt, das nach einem Verfahren gemäß fünftem Erfindungsaspekt hergestellt oder herstellbar ist.

[0096] Bezüglich weiterer Merkmale und Vorteile des Endprodukts, insbesondere in Bezug auf das zu seiner Herstellung verwendete Halbzeug, wird vollständig auf die im Rahmen der bisherigen Erfindungsaspekte gemachten Ausführungen Bezug genommen. Die dort, insbesondere in Bezug auf das Halbzeug, beschriebenen Merkmale und Vorteile gelten sinngemäß auch für das Endprodukt gemäß sechstem Erfindungsaspekt.

[0097] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den nachfolgend beschriebenen Ausführungsbeispielen. Dabei können einzelne Merkmale der Erfindung jeweils für sich alleine oder in Kombination miteinander verwirklicht sein. Die beschriebenen Beispiele dienen lediglich der weiteren Erläuterung der Erfindung, ohne diese hierauf zu beschränken.

Herstellung eines erfindungsgemäßen Halbzeugs

[0098] Für die Herstellung des Halbzeugs wurde eine mittels einer Hammermühle aufbereitete und aus einer Müllverbrennungsschlacke stammende Aluminiumfraktion verwendet.

[0099] Die aufbereitete Aluminiumfraktion wurde gewogen und in einem Elektroofen (Zieltemperatur: 680 °C - 750 °C) aufgeschmolzen. Eine aufschwimmende Krätze wurde mechanisch entfernt (manuelles Abkrätzen mittels eines Schabers). Anschließend erfolgte ein mechanisches Rühren, um eine möglichst homogene Schmelze zu erhalten.

[0100] Mittels eines Gießlöffels wurde Schmelze entnommen und in eine Probenform gegossen. Von der erstarrten Schmelzprobe wurden ca. 2 mm abgefräst, und die neue Oberfläche wurde mittels optischer Funkenspektroskopie analysiert. Als Ergebnis erhielt man die in untenstehender Tabelle 1 wiedergegebene, repräsentative chemische Zusammensetzung der Schmelze:

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung der Schmelze

Legierungselement	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn
Gew.-%	1,82	0,472	0,366	0,198	0,132	0,0213	0,0196	0,797

[0101] Die restliche Schmelze wurde in eine Stahlschmelzkokille gegossen. Der Bodensatz (Material mit einer Dichte größer als die Aluminiumschmelze, zum Beispiel Buntmetalle) wurde aus dem Ofentiegel entfernt. Abgegossene Aluminiumschmelze und Krätze/Bodensatz wurden getrennt gewogen. Die Metallausbeute wurde gemäß nachfolgender Formel berechnet:

$$\text{Metallausbeute [\%]} = \frac{\text{Masse abgegossener Metallblock} + \text{Masse Schmelzprobe(n)}}{\text{Masse}}$$

Inputmaterial

[0102] Das Umschmelzen diente neben einem Abtrennen von aufschwimmender Krätze einer Abscheidung/Abtrennung verbliebener Fremdstoffe, wie insbesondere von Buntmetallen, Eisen/Eisenlegierungen, Glas, Keramik usw.

[0103] Danach wurde das umgeschmolzene Material erneut aufgeschmolzen und gegebenenfalls aufgelegt bzw. andere Schrotte (5xxx, Pyrolyseschrott, etc.) beigemengt und ebenfalls aufgeschmolzen. Basis für die Mengenverhältnisse waren die Ergebnisse der oben erwähnten Analyse mittels optischer Funkenspektroskopie.

[0104] Die gesamte Schmelze wurde mit inertem Gas (Argon oder Stickstoff) gespült, um den Wasserstoffgehalt in der Schmelze zu reduzieren und weitere Verunreinigungen aufzuschwemmen. Danach wurde mittels eines Schabers abgekratzt und ein Kornfeiner (TiB₂) in Drahtform zugegeben.

[0105] Danach erfolgte ein Gießen (Zieltemperatur der Schmelze: 700 °C - 750 °C) der Bolzen (Durchmesser 41 mm x 140 mm) für eine Versuchs-Strangpresse. Dazu wurde eine auf ca. 100 °C vorgeheizte Kupfer-Kokille im sogenannten Tilt-Casting-Verfahren verwendet. Nach der vollständigen Erstarrung wurde der Gussbolzen in Wasser bei Raumtemperatur abgekühlt.

[0106] Als nächstes wurde der Bolzen gemäß nachfolgendem Schema homogenisiert:

- Aufheizen von Raumtemperatur auf -bis zu 580 °C mit einer Heizrate von ca. 3 K/min.
- Die Haltezeit bei der Homogenisierungstemperatur beträgt vier Stunden.
- Das Abkühlen erfolgte mittels bewegter Luft.

[0107] Nach dem Homogenisieren wurden die Bolzen auf einen Durchmesser von 39 mm x 110 mm abgedreht, um die Gusschut zu entfernen.

[0108] Die homogenisierten Bolzen (Durchmesser 39 mm x 110 mm) wurden auf ca. 480 °C vorgewärmt und sodann manuell in einen Rezipienten (Durchmesser 42 mm) der Versuchsstrangpresse (dieser war auf 350 °C vorgewärmt) geladen. Die eigentliche Umformung fand mit einer Stempelgeschwindigkeit von 10 mm/s statt. Das Strangpresswerkzeug (die Matrize) hatte dabei eine Temperatur von ca. 150 °C, der formgebende Durchbruch hatte einen Durchmesser von 11 mm. Somit stellte sich ein Pressverhältnis von ca. 14 ein. Der austretende Pressstrang kühlte an ruhender Luft. Es ergab sich eine Kühlrate von ca. 0,5 K/s bis 100 °C.

[0109] Der Pressstrang wurde danach (aufgrund einer unkontrollierten Abkühlung nach dem Strangpressen) lösungsgelüht. Dazu wurden Strangabschnitte in einen auf 540 °C vorgeheizten Ofen eingebracht und nach Erreichen der Zieltemperatur für 20 Minuten bei dieser gehalten. Im Anschluss wurden die Proben in einem Wasserbad auf unter 250 °C (erreichte Abkühlrate > 100 K/s) abgeschreckt. Alternativ wurden die Proben mit bewegter Luft abgekühlt. Die erreichbaren Kühlraten lagen hier im Bereich von > 1 K/s.

[0110] Nach dem Abschrecken verweilten die Strangabschnitte < 10 Minuten bei Raumtemperatur. Danach wurden sie der eigentlichen Warmauslagerung unterzogen (→ Heizen mit 1,5 K/min auf 200 °C und Halten dieser Temperatur für vier Stunden).

[0111] Die Proben wurden einer Zugprüfung gemäß EN ISO 6892-1 unterworfen. Die Ergebnisse sind in nachfolgender Tabelle 1 dargestellt:

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Tabelle 1

R_m (Zugfestigkeit)	$R_{p0.2}$ (Dehngrenze)	A_{40mm} (Bruchdehnung)	A_g (Gleichmaßdehnung)	Z Brucheinschnürung	E (Elastizitätsmodul)
MPa	MPa	%	%	%	GPa
204	124	19,6	9,9	55	67,3

[0112] Die Ergebnisse zeigen eine relativ hohe Bruchdehnung sowie Brucheinschnürung, was wiederum eine relativ hohe Duktilität bedeutet.

[0113] Schließlich wurden Korrosionstests gemäß EN ISO 11846 durchgeführt. Die Auswertung erfolgte anhand metallografischer Schliffe. Als Referenzobjekte wurden Proben gleicher Geometrie und gleichen Werkstoffzustands aus der bekannten EN AW-6060 verwendet. Hierbei stellte sich heraus, dass es gegenüber den Referenzobjekten zu keiner Beeinträchtigung der Korrosionseigenschaften kam.

[0114] Weiter haben Versuche am Umformdilatometer - bei unterschiedlichen Umformtemperaturen und -raten - Fließspannungen ergeben, die zwischen der Fließspannung von EN AW-6060 und EN AW-6082 lagen. Somit lag der Umformwiderstand im Bereich von bekannten Al-Mg-Si Legierungen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen einer Aluminiumlegierung bestehend aus:

- 1,1 Gew.-% bis 2,1 Gew.-% Silizium,
- 0,4 Gew.-% bis 0,8 Gew.-% Eisen,
- 0,2 Gew.-% bis 1,7 Gew.-% Kupfer,
- 0,15 Gew.-% bis 0,8 Gew.-% Mangan,
- 0 Gew.-% bis 0,5 Gew.-%, insbesondere > 0 Gew.-% bis 0,5 Gew.-%, Magnesium,
- 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, insbesondere > 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, Chrom,
- 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, insbesondere > 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, Nickel,
- 0,5 Gew.-% bis 2 Gew.-% Zink,
- 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, insbesondere > 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, Titan,
- 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, insbesondere > 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, Blei,
- 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, insbesondere > 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, Strontium und
- Rest Aluminium sowie optional unvermeidbare Verunreinigungen,

wobei das Verfahren den nachfolgenden Schritt aufweist:

- a) Aufschmelzen einer aus einer Müllverbrennungsschlacke gewonnenen oder bereitgestellten Aluminiumfraktion unter Erhalt einer Schmelze der Aluminiumlegierung oder einer Schmelze einer Vorstufe der Aluminiumlegierung oder Umschmelzen einer aus einer Müllverbrennungsschlacke gewonnenen oder bereitgestellten Aluminiumfraktion zu einem Formkörper und Aufschmelzen des Formkörpers unter Erhalt einer Schmelze der Aluminiumlegierung oder einer Schmelze einer Vorstufe der Aluminiumlegierung.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verfahren ferner einen Schritt b) aufweist:

- b) Beimengen von Reinaluminium und/oder Aluminiumschrott zu der Schmelze der Aluminiumlegierung oder zu der Schmelze der Vorstufe der Aluminiumlegierung und/oder
Beimengen von Magnesium und/oder Strontium und/oder Mangan zu der Schmelze der Aluminiumlegierung oder zu der Schmelze der Vorstufe der Aluminiumlegierung.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** beim Durchführen von Schritt b) das Reinaluminium und/oder der Aluminiumschrott in einer Menge der Schmelze der Aluminiumlegierung oder der Schmelze der Vorstufe der Aluminiumlegierung beigemischt wird, dass das beigemischte Reinaluminium und/oder der beigemischte Aluminiumschrott einen Anteil von ≤ 50 Gew.-%, bevorzugt < 50 Gew.-%, insbesondere ≤ 25 Gew.-%, bevorzugt < 25 Gew.-%, vorzugsweise ≤ 10 Gew.-%, bevorzugt < 10 Gew.-%, aufweisen/aufweist, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiumlegierung.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** beim Durchführen von Schritt b) das Magnesium in einer Menge der Schmelze der Aluminiumlegierung oder der Schmelze der Vorstufe der Aluminiumlegierung beigemischt wird, dass das Magnesium einen Anteil von höchstens 0,5 Gew.-%, insbesondere 0,15 Gew.-% bis 0,5 Gew.-%, bevorzugt 0,2 Gew.-% bis 0,4 Gew.-%, aufweist, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiumlegierung.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** beim Durchführen von Schritt b) das Strontium in einer Menge der Schmelze der Aluminiumlegierung oder der Schmelze der Vorstufe der Alumi-

umlegung beigemengt wird, dass das Strontium einen Anteil von höchstens 0,1 Gew.-%, insbesondere 0,01 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, aufweist, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiumlegierung.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schmelze der Aluminiumlegierung oder der Schmelze der Vorstufe der Aluminiumlegierung kein Reinaluminium und/oder kein Aluminiumschrott beigemengt werden/wird.

7. Verfahren zum Herstellen eines Halbzeugs, aufweisend die nachfolgenden Schritte:

a) Herstellen einer Aluminiumlegierung nach einem Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche oder Bereitstellen einer Aluminiumlegierung bestehend aus:

- 1,1 Gew.-% bis 2,1 Gew.-% Silizium,
- 0,4 Gew.-% bis 0,8 Gew.-% Eisen,
- 0,2 Gew.-% bis 1,7 Gew.-% Kupfer,
- 0,15 Gew.-% bis 0,8 Gew.-% Mangan,
- 0 Gew.-% bis 0,5 Gew.-%, insbesondere > 0 Gew.-% bis 0,5 Gew.-%, Magnesium,
- 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, insbesondere > 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, Chrom,
- 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, insbesondere > 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, Nickel,
- 0,5 Gew.-% bis 2 Gew.-% Zink,
- 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, insbesondere > 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, Titan,
- 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, insbesondere > 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, Blei,
- 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, insbesondere > 0 Gew.-% bis 0,1 Gew.-%, Strontium und
- Rest Aluminium sowie optional unvermeidbare Verunreinigungen,

b) Gießen, insbesondere Stranggießen, der Aluminiumlegierung zu einem Gussbarren und

c) Strangpressen des Gussbarrens zu dem Halbzeug.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** Verfahren ferner zwischen dem Schritt b) und dem Schritt c) einen Schritt bc)₁ aufweist:

bc)₁ Glühen des Gussbarrens, wobei vorzugsweise.
beim Durchführen von Schritt bc)₁ der Gussbarren mit einer Heizgeschwindigkeit von 1,5 K/min bis 5 K/min, insbesondere 2 K/min bis 4 K/min, erwärmt, bei einer Temperatur von 480 °C bis 580 °C, insbesondere 490 °C bis 570 °C, während eines Zeitraums von 2 h bis 8 h, bevorzugt 3 h bis 6 h, gehalten und anschließend mit einer Abkühlungsgeschwindigkeit von 100 K/h bis 1000 K/h, insbesondere 150 K/h bis 900 K/h, bevorzugt 250 K/h bis 800 K/h, auf eine Temperatur von ≤ 250 °C abgekühlt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verfahren ferner zwischen dem Schritt b) und dem Schritt c), insbesondere nach dem Schritt bc)₁, einen Schritt bc)₂ aufweist:

bc)₂ Erwärmen, insbesondere Vorwärmen, des Gussbarrens, insbesondere auf eine Temperatur von 400 °C bis 520 °C, bevorzugt 415 °C bis 510 °C, besonders bevorzugt 430 °C bis 500 °C.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verfahren ferner einen Schritt d) aufweist:

d) Abkühlen des Halbzeugs, insbesondere mittels Luft- und/oder Wasser.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verfahren ferner einen Schritt e) aufweist:

e) Recken des abgekühlten Halbzeugs.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verfahren ferner einen Schritt f) aufweist:

f) Tempern des gereckten Halbzeugs, insbesondere bei einer Temperatur von 100 °C bis 200 °C, bevorzugt 120 °C bis 200 °C, vorzugsweise 140 °C bis 190 °C.

13. Halbzeug, hergestellt oder herstellbar nach einem Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 12.

EP 4 461 835 A1

14. Verfahren zum Herstellen eines Endprodukts, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Endprodukt aus einem Halbzeug nach Anspruch 13 und optional einer oder mehreren weiteren Komponenten hergestellt wird oder das Verfahren die nachfolgenden Schritte aufweist:

- 5 a) Herstellen eines Halbzeugs nach einem Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 12 und
 b) Herstellen des Endprodukts aus dem Halbzeug und optional aus einer oder mehreren weiteren Komponenten.

15. Endprodukt, hergestellt oder herstellbar nach einem Verfahren nach Anspruch 14.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 17 2867

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

2

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	JP 2001 162318 A (FURUKAWA ELECTRIC CO LTD; HONDA MOTOR CO LTD) 19. Juni 2001 (2001-06-19)	7-15	INV. C22B7/04 C22B21/00 C22C21/02 C22F1/043 C22C21/14
Y	* Absatz [0009] - Absatz [0028] * * Beispiel 1; Tabelle 1 * * Ansprüche 1-5 *	1-6	
Y	AL-HELAL KAWTHER W ET AL: "Melt Conditioned Direct Chill (MC-DC) Casting of AA-6111 Aluminium Alloy Formulated from Incinerator Bottom Ash (IBA)", RECYCLING, Bd. 4, Nr. 3, 28. August 2019 (2019-08-28), Seite 37, XP093088007, DOI: 10.3390/recycling4030037	1-6	
A	* Kapitel 2.1 * * "Lion Grade IBA"; Tabelle 1 *	7-15	
A	JP 2017 133054 A (NIPPON LIGHT METAL CO; HONDA MOTOR CO LTD) 3. August 2017 (2017-08-03) * Absatz [0070] - Absatz [0074] * * Beispiel 1; Tabelle 1 * * Ansprüche 1-4 *	1-15	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) C22B C22C C22F
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 3. Oktober 2023	Prüfer Neibecker, Pascal
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.****EP 23 17 2867**

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

03-10-2023

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	JP 2001162318 A	19-06-2001	JP 3324093 B2 JP 2001162318 A	17-09-2002 19-06-2001
15	JP 2017133054 A	03-08-2017	JP 6719219 B2 JP 2017133054 A	08-07-2020 03-08-2017
20				
25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

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

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- CN 1410572 A [0003]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **M. GÖKELMA et al.** a Method for Assessment of Recyclability of Aluminium from Incinerated Household Waste. The Minerals, Metals & Materials Society, 2019, 1359-1365 [0002]
- **M. GÖKELMA et al.** Characteristic properties and recyclability of the aluminium fraction of MSWI bottom ash. *Waste Management*, 2021, vol. 130, 65-73 [0002]
- **KAWTHER WAL-HELAL et al.** Melt Conditioned Direct Chill (MC-DC) Casting of AA-6111 Aluminium Alloy Formulated from Incinerator Bottom Ash (IBA). *Recycling*, 2019, vol. 4 (37), 1-9 [0002]
- **SYC et al.** Metal recovery of incineration bottom ash: State-of-the-art and recent developments. *J. Hazard. Mat.*, 2020, vol. 393, 122433 [0026]