(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 1 645 647 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
05.12.2007 Patentblatt 2007/49

(51) Int Cl.:
C22C 21/04 *(2006.01)* ***C22F 1/04*** *(2006.01)*
C22F 1/043 *(2006.01)*

(21) Anmeldenummer: **05019300.2**

(22) Anmeldetag: **06.09.2005**

(54) **Kaltaushärtende Aluminiumgusslegierung und Verfahren zur Herstellung eines Aluminiumgussteils**

Cold age hardenable Al-alloy and process of the manufacture of a cast part

Alliage d'aluminium à vieillissement à froid et procédé de fabrication d'une pièce coulée

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI SK TR

(30) Priorität: **08.10.2004 DE 102004049074**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
12.04.2006 Patentblatt 2006/15

(73) Patentinhaber: **Trimet Aluminium AG**
45356 Essen (DE)

(72) Erfinder:
- **Borchmann, Jana, Dipl.-Ing.**
  45470 Mülheim (DE)
- **Carlson, Ursula, Dipl.-Ing.**
  45134 Essen (DE)
- **Diederichs-Mittler, Ina, Dipl.-Ing.**
  45259 Essen (DE)
- **Kleine, Andreas, Dr. Ing.**
  38889 Blankenburg (DE)

(74) Vertreter: **Müller-Wolff, Thomas**
Patentanwalt,
Postfach 19 02 17
53037 Bonn (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
WO-A-96/10099
US-A- 3 466 170
US-A- 3 619 181
US-A- 4 648 918

- **SCHAEFER M ET AL: "EFFECT ON STRONTIUM MODIFICATION ON NEAR-THRESHOLD FATIGUE CRACK GROWTH IN AN AL-SI-CU DIE CAST ALLOY" METALLURGICAL AND MATERIALS TRANSACTIONS A: PHYSICAL METALLURGY &MATERIALS SCIENCE, ASM INTERNATIONAL, MATERIALS PARK, OH, US, Bd. 27A, Nr. 5, 1. Mai 1996 (1996-05-01), Seiten 1293-1302, XP000593932 ISSN: 1073-5623**
- **SAMUEL F H: "INCIPIENT MELTING OF AI5MG8SI6CU2 AND AI2CU INTERMETALLICS IN UNMODIFIED AND STRONTIUM-MODIFIED AI-SI-CU-MG (319) ALLOYS DURING SOLUTION HEAT TREATMENT" JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE, SPRINGER / BUSINESS MEDIA, DORDRECHT, NL, Bd. 33, Nr. 9, 1. Mai 1998 (1998-05-01), Seiten 2283-2297, XP000754486 ISSN: 0022-2461**
- **GOWRI S ET AL: "EFFECT OF ALLOYING ELEMENTS ON THE SOLIDIFICATION CHARACTERISTICS AND MICROSTRUCTURE OF AL-SI-CU-MG-FR 380 ALLOY" METALLURGICAL AND MATERIALS TRANSACTIONS A: PHYSICAL METALLURGY &MATERIALS SCIENCE, ASM INTERNATIONAL, MATERIALS PARK, OH, US, Bd. 25A, Nr. 2, 1. Februar 1994 (1994-02-01), Seiten 437-448, XP000428627 ISSN: 1073-5623**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 1 645 647 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine kaltaushärtende Aluminiumgusslegierung, die auf Basis von Hüttenaluminium Al 99,9 erschmolzen wurde und bei hoher Zugfestigkeit und Streckgrenze noch eine Dehnung von deutlich über 1 % aufweist, sowie ein Verfahren zur Herstellung eines Aluminiumgussteils.

Stand der Technik

[0002] Aus dem Werkstoff-Datenblatt ENAC-46200 ist als genormte Gusslegierung vom Typ G-AlSi8Cu3 die Legierung 226A (VDS Liste) bekannt. Die chemische Zusammensetzung dieser Legierung wird in Gewichtsprozent (Gw%) wie folgt angegeben: Silicium 7,5 - 9,5 Gw%, Eisen max 0,8 Gw%, Kupfer 2 - 3,5 Gw%, Mangan 0,15 - 0,65 Gw%, Magnesium 0,05 - 0,55 Gw%, Nickel max 0,35 Gw%, Zink max 1,2 Gw%, Titan max 0,25 Gw%, Blei max 0,25 Gw%, Chrom max 0,15 Gw%, Rest Aluminium sowie andere Beimengungen 0,05% (einzeln) und 0,25Gw% (insgesamt).

[0003] Aus M. Schaefer und R.A Fournelle, "Effekt of strontium modification on near-threshold fatigue crack growth in an Al-Si-Cu die cast alloy", Metallurgical and Materials Transactions 27A, 05/1996, 1295-1301, sind Al-Si-Cu-Fe-Zn-Mn-Legierungen mit Zusatz von Sr bekannt.

Aufgabenstellung

[0004] Ausgehend davon soll eine kaltaushärtende Aluminiumgusslegierung sowie ein Verfahren zur Herstellung eines Aluminiumgußteils mit hoher Zugfestigkeit und Streckgrenze bei gleichzeitig verbesserter Duktilität angegeben werden. Die Legierung soll gut vergießbar und zur Herstellung thermisch hoch beanspruchbarer Gussteile geeignet sein. Die Gussteile sollen auch mit herkömmlichen Mitteln gut schweißbar sein.

[0005] Zur Lösung des ersten Teils dieser Aufgabe wird eine neue AlSi9Cu3 mit zusätzlichen Gehalten an Mangan, Zink, Strontium und Obergrenzen für Magnesium, Eisen und Titan gemäß kennzeichnendem Teil von Patentanspruch 1 angegeben. Das neue Verfahren ist durch die im Patentanspruch 2 definierten Maßnahmen gekennzeichnet.

Beispiele

[0006] Im folgenden wird die Erfindung mit einer Standartlegierung verglichen. Dabei wurden die Werte von Zugfestigkeit, Dehngrenze und Dehnung an einem im Schwerkraftkokillenguss gegossenen Probestab gemessen, der auf folgende Abmessungen abgedreht wurde: Probendicke a= 3mm, Probenbreite b= 8mm, Kopfbreite B= 12mm, Kopfhöhe h= 15mm, Anfangslänge L0= 30mm, Versuchslänge Lc= 33mm und Gesamtlänge Lt= 80mm.

1. Beispiel nach dem Stand der Technik

[0007] Als Vergleichslegierung wird eine 226A-Gusslegierung mit folgender Zusammensetzung verwendet:

Si 8%, Fe 0,6%, Cu 3,0%, Mn 0,3%, Ni 0,2%, Zn 1,0%, Ti 0,2%, Pb 0,1%, Sn 0,1%, Mg 0,45 andere Beimengungen: einzeln 0,05, insgesamt 0,25%, Rest Aluminium.

[0008] Die Gusslegierung G-AlSi8Cu3 (Werkstoff Nr. 3.2162.05) weist im Gusszustand folgende Werkstoffeigenschaften auf:

Streckgrenze $R_{p0,2}$ = 100 MPa
Zugfestigkeit R_m = 170 MPa
Dehnung A_{50mm} = 1%

Vergleich der Verarbeitungseigenschaften

[0009] Der Vergleich zwischen der Legierung 226A nach dem Stand der Technik und der erfindungsgemäßen Legierung zeigt die überlegenen Eigenschaften der erfindungsgemäßen Legierung, da die Werte für
Streckgrenze $R_{p0,2} \geq 170$MPa
Zugfestigkeit Rm ≥ 230 MPa bei gleichzeitig hoher
Dehnung $A_{50mm} > 1.5\%$ gemessen wurden.

[0010] Außerdem wurden die Gefügestrukturen verglichen. Dabei zeigte sich, dass bei der erfindungsgemäßen Legierung nur geringe Gehalte an Mg_2Si-Phasen gebildet wurden. Die Rekristallisationstemperatur war bei der erfindungsgemäßen Legierung ebenfalls deutlich erhöht. Ferner war die Anzahl der Beta-Al-Fe-Si-Nadeln um ca. 80% verringert, was auf eine deutlich verbesserte Duktilität der erfindungsgemäßen Legierung schließen lässt.

Weitere Versuche zur Interpretation der Gehaltsgrenzen

[0011] Durch Variation der im Anspruch 1 angegebenen Gusslegierung hinsichtlich der Legierungsgrenzen wurden folgende Ergebnisse festgehalten:

1. Magnesium: bei Gehalten von über 0,55 % wird während des Vergießens der erfindungsgemäß zusammengesetzte Basislegierung die Oxidationsneigung gefördert. Außerdem konnte bei derartig hohen Mg-Gehalten keine weitere Festigkeitssteigerung festgestellt werden, da sich Mg_2Si-Phasen bildeten.
2. Eisen: bei Gehalten über 0,2 % wird bei allen nach Anspruch 8 vergossenen Legierungen die Dehnung deutlich herabgesetzt.
3. Titan: Oberhalb von 0,2 % wurde keine Verbesserung des Gefüges eines nach Anspruch 1 ausgebildeten Gussteils im Hinblick auf die Rekristallisationstemperatur festgestellt.
4. Indium und Cadmium verkürzen die Kaltauslage-

rungszeit der erfindungsgemäßen Legierung.

5. Beryllium vermindert bei Magnesiumgehalten von über 0,4 bis 0,55 Gw% die Oxidationsneigung, die wiederum einen ungünstigen Einfluss auf die Dehnung hat.
6. Cer erhöht in Aluminiumgusslegierungen der Zusammensetzung nach Anspruch 1 - 4 die Fließfähigkeit und mindert bis zu Gehalten von 0,4% die Klebneigung.
7. Zink verbessert bis zu einem Gehalt von 3,5 % bei einer nach Anspruch 1 zusammengesetzten Legierung die Formstabilität des Gussteils, bei Gehalten von mehr als 3,5% wurde keine weitere Steigerung der Formstabilität bzw. eine Verringerung der Klebeneigung festgestellt.

[0012] Somit lässt sich die technische Überlegenheit der ausgewählten Parameter für die erfindungsgemäße Aluminiumgusslegierung als Ergebnis einer synergistischen Wirkung der jeweils beteiligten Legierungselemente begründen.

Patentansprüche

1. Kaltaushärtende Aluminiumgusslegierung, die auf Basis von Primärmetall/Hüttenaluminium der Reinheit Al 99,9 oder einer höheren Reinheitsstufe als Primärlegierung erschmolzen wurde und bei hoher Zugfestigkeit und Streckgrenze noch eine Dehnung von über 1 % aufweist, **gekennzeichnet durch** folgende Legierungsgehalte in Gewichts(Gw)%:

   Silicium 6 -11 Gw%
   Kupfer 2,0 - 4,0 Gw%
   Mangan 0,65 -1,0 Gw%
   Zink 0,5 - 3,5 Gw%
   Strontium 0,01 - 0,04 Gw%
   Magnesium max 0,55 Gw%
   Eisen max 0,2 Gw%
   Titan max 0,2 Gw%

   und wahlweise eines oder mehrere Elemente aus der Gruppe

   - Silber 0,01 - 0,80 Gw%
   - Samarium 0,01 - 1,0 Gw%
   - Nickel 0,01 - 0,40 Gw%,

   und/oder wahlweise eines oder mehrere Elemente aus der Gruppe

   - Cadmium 0,01 - 0,30 Gw%
   - Indium 0,01 - 0,20 Gw%,

   und/oder wahlweise Beryllium bis zu 0,001 Gw%
   Rest Aluminium und herstellungsbedingte Verunreinigungen.

2. Verfahren zur Herstellung eines kaltaushärtenden Aluminium-Gussteils, das bei hoher Zugfestigkeit und Streckgrenze eine Dehnung von deutlich über 1 % aufweist, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine AlSiCu-Gusslegierung gemäß Anspruch 1 auf der Basis von Primärmetall/Hüttenmetall der Reinheit Al 99,9 oder reiner erschmolzen wird und sich dem Gießvorgang unmittelbar nachfolgend eine Kaltauslagerung von 7 - 9 Tagen anschließt.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Verbesserung der Festigkeitswerte bei gleichbleibend hoher Dehnung von über 1,5 % nach der Kaltsauslagerung eine Warmauslagerung bei 160 bis 240°C durchgeführt wird.

Claims

1. A strain hardening cast aluminium alloy which was molten on the basis of primary metal/primary aluminium of a purity of 99.9 or a higher degree of purity as a primary alloy and which, at a high tensile strength and yield point, still comprises an elongation in excess of 1%,
   characterised by the following alloy contents in percentages by weight:

   silicon 6 - 11 percent by weight
   copper 2.0 - 4.0 percent by weight
   manganese 0.65 - 1.0 percent by weight
   zinc 0.5 - 3.5 percent by weight
   strontium 0.01 - 0.04 percent by weight
   manganese max. 0.55 percent by weight
   iron max. 0.2 percent by weight
   titanium max. 0.2 percent by weight

   and, optionally, one or more elements of the following group:

   - silver 0.01 - 0.80 percent by weight
   - samarium 0.01 - 1.0 percent by weight
   - nickel 0.01 - 0.40 per cent by weight

   and/or, optionally, up to 0.4 percent by weight of cerium
   and/or, optionally, one or several elements of the following group:

   - cadmium 0.01 - 0.30 percent by weight
   - indium 0.01 - 0.20 percent by weight

   and/or
   beryllium up to 0.001 percent by weight,
   the remainder being aluminium and production-related impurities.

2. A process of producing a strain hardening aluminium

casting which, at a high tensile strength and yield point, comprises an elongation clearly in excess of 1 %,
characterised in
that an AlSiCu cast alloy according to claim 1 is molten on the basis of primary metal/primary aluminium of a purity of Al 99.9 or purer and that the casting process is followed directly by a strain hardening period of 7 - 9 days.

3. A process according to claim 2,
characterised in
that for improving the strength values while maintaining a uniformly high elongation value in excess of 1.5 %, the strain hardening operation is followed by a quench-age hardening operation at 160 to 240 °C.

Revendications

1. Un alliage d'aluminium fondu durcissant à froid qui a été élaboré sur la base d'un aluminium de première fusion, ayant un degré de pureté de Al 99,9 ou mieux comme alliage primaire, et qui présente non seulement une haute résistance à la traction et une haute limite d'élasticité, mais encore une extension supérieure à 1% , **caractérisé par** les contenus d'alliage suivants définis en pourcentage pondéral, à savoir:

silicium	6 - 11 % en poids
cuivre	2,0 - 4,0% en poids
manganèse	0,65 - 1,0% en poids
zinc	0,5 - 3,5% en poids
strontium	0,01 - 0,04% en poids
magnésium	0,55% en poids max.
fer	0,2% en poids max.
titane	0,2% en poids max.

et facultativement un ou plusieurs éléments du groupe :

- argent 0,01 - 0,80% en poids
- samarium 0,01 - 1,0% en poids
- nickel 0,01 - 0,40% en poids

et/ou facultativement jusqu'à 0,4% en poids de cérium,
et/ou facultativement un ou plusieurs éléments du groupe :

- cadmium 0,01 - 0,30% en poids
- indium 0,1 - 0,20% en poids

et/ou facultativement jusqu'à 0,001 % en poids de béryllium,
un reste d'aluminium et des impuretés dues à la fabrication.

2. Un procédé de fabrication d'une pièce moulée en fonte d'aluminium durcissant à froid qui présente une haute résistance à la traction et une haute limite d'élasticité, une extension nettement supérieure à 1%, **caractérisée par le fait qu'**un alliage de AlSiCu fondu, conformément à la revendication 1, a été élaboré sur la base d'un métal de première fusion ayant un degré de pureté de Al 99,9 ou mieux et que la coulée soit suivie immédiatement d'un refroidissement durant 7 à 9 jours.

3. Un procédé de fabrication, conformément à la revendication 2, **caractérisé par le fait qu'**un réchauffement à une température de 160 à 240°C a été effectué après le refroidissement, afin d'améliorer les propriétés de résistance, tout en conservant le haut degré d'extension de 1,5% et plus.

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 Nicht-Patentliteratur

- **M. SCHAEFER ; R.A FOURNELLE.** Effekt of strontium modification on near-threshold fatigue crack growth in an Al-Si-Cu die cast alloy. *Metallurgical and Materials Transactions,* Mai 1996, vol. 27A, 1295-1301 **[0003]**