

(19)



(11)

EP 1 978 120 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
08.10.2008 Patentblatt 2008/41

(51) Int Cl.:
C22C 21/02 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **08075254.6**

(22) Anmeldetag: **31.03.2008**

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

(30) Priorität: **30.03.2007 DE 102007015821**

(71) Anmelder: **Technische Universität Clausthal
38678 Clausthal-Zellerfeld (DE)**

(72) Erfinder:
• **Dr.-Ing. Kostyantyn Gzovsky
38678 Clausthal-Zellerfeld (DE)**
• **Prof. Dr.-Ing. Babette Tonn
38678 Clausthal-Zellerfeld (DE)**
• **Dr.-Ing. Hennadiy Zak
38678 Clausthal-Zellerfeld (DE)**

(74) Vertreter: **Läufer, Martina et al
Gramm, Lins & Partner GbR
Freundallee 13
30173 Hannover (DE)**

(54) **Aluminium-Silizium-Gusslegierung und Verfahren zu Ihrer Herstellung**

(57) Die neue für die Herstellung von Motorenkomponenten geeignete hoch- und warmfeste Aluminium-Silizium-Gusslegierung mit wenigstens 65 Gew.-% Aluminium, 5 bis 25 Gew.-% Silizium, gegebenenfalls weiteren Bestandteilen und unvermeidbaren Verunreinigungen und 0,0007 bis 0,1 Gew.-% Kohlenstoff, besitzt eine hohe Festigkeit, Warmfestigkeit, gute Kriechfestigkeit sowie

ausreichende Duktilität bei gleichzeitig geringer Korrosionsanfälligkeit und kann vergleichsweise preiswert hergestellt werden. Der Einsatz von Kohlenstoff, auch in Form von Vorlegierungen, beeinflusst vorteilhaft die intermetallischen Verbindungen, die Feinheit des Primärsiliziums sowie die eutektische Phase in Al-Si-Legierungen.



Fig. 1

EP 1 978 120 A1

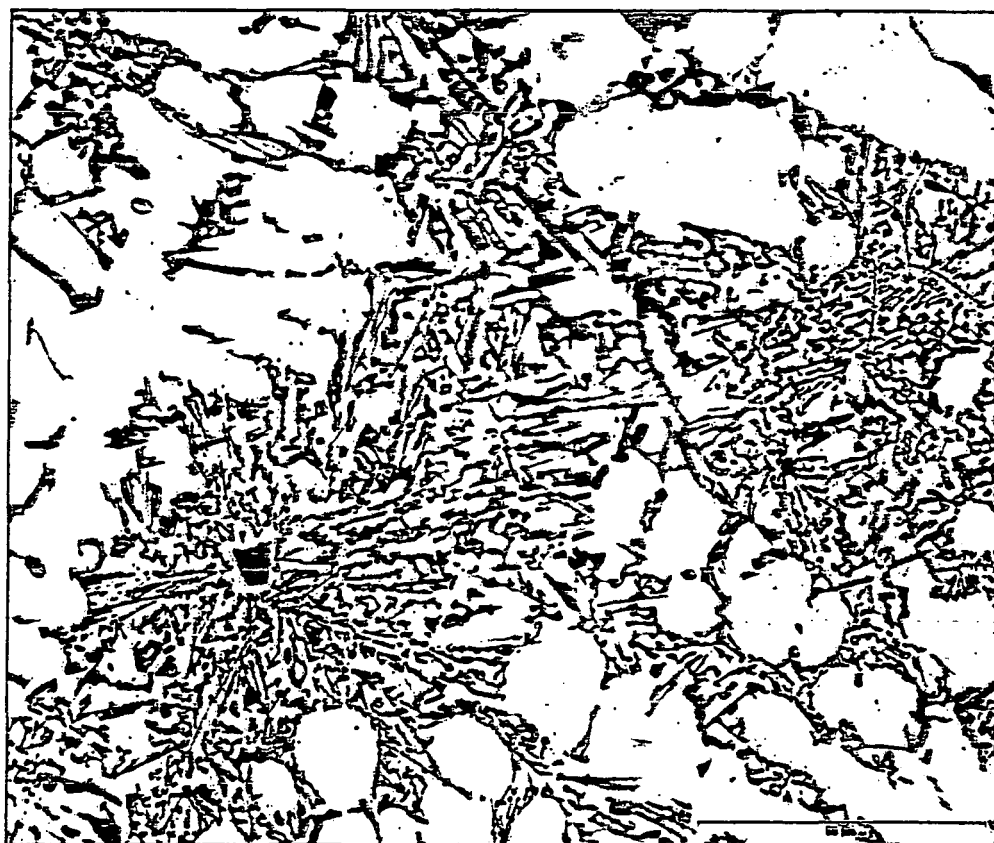


Fig. 2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft hoch- und warmfeste siliziumhaltige Aluminium-Gusslegierungen, deren Herstellung und deren Verwendung zur Herstellung von Motorenkomponenten.

[0002] Zur Reduzierung von Emissionen und Kraftstoffverbrauch sowie zur Steigerung der Motorleistung sind in den letzten Jahren die Verbrennungsdrücke und Verbrennungstemperaturen der Binnmotoren bzw. Verbrennungskraftmaschinen, vor allem im Dieselmotor, gestiegen. Dies führte zu erhöhten Anforderungen an die thermomechanischen Belastungen für Motorenkomponenten.

[0003] Im Stand der Technik sind insbesondere im Motorenbau Al-Gusslegierungen bekannt. Al-Gussteile finden aufgrund ihres geringen spezifischen Gewichts, der einfachen Formgebung und leichten Verarbeitbarkeit vielseitig Verwendung. Ebenfalls lassen sich über verschiedene Gießverfahren komplizierte Werkstücke, wie z.B. Kolben, Zylinderköpfe, Kurbelgehäuse oder Motorblöcke herstellen.

[0004] Eine bewährte Legierungsgruppe zur Herstellung von Motorenkomponenten sind Al-Si-Legierungen. Diese Werkstoffe werden typischerweise mit Siliziumgehalten zwischen 6 und 18 Gew.-%, in Einzelfällen auch bis zu 24 Gew.-% sowie mit Beimengungen von Magnesium von 1 bis 1,5 Gew.-%, Kupfer zwischen 1 und 4 Gew.-% und häufig auch Nickel zwischen 1 bis 3 Gew.-% legiert (Katalog "Aluminium-Gusslegierungen", VAW-IMCO).

[0005] Um die Warmfestigkeit der Al-Si-Legierungen zu verbessern, wird z.B. gemäß der US 6 419 769 B1 empfohlen, den Kupfergehalt zwischen 5,6 und 8 Gew.-% einzustellen. Der Verbesserung der mechanischen Festigkeit stehen aber in diesem Fall eine Verschlechterung der Duktilität, Steigerung des spezifischen Gewichts sowie eine verminderte Korrosionsbeständigkeit gegenüber.

[0006] Eine warmfeste Legierung mit reduziertem spezifischem Gewicht wird in der DE-PS 747 355 als für Kolben besonders vorteilhaft beschrieben. Dieser Werkstoff zeichnet sich durch einen Magnesiumgehalt zwischen 4 und 12 Gew.-% und einen Siliziumgehalt zwischen 0,5 und 5 Gew.-% aus. Ferner können zwischen 0,2 und 5 Gew.-% Kupfer und/oder Nickel zulegiert sein. Der hohe Magnesiumgehalt führt wegen der starken Wasserstoffaufnahme zur Gasporosität. Die zusätzliche Oxidation birgt darüber hinaus die Gefahr von Oxideinschlüssen, die die mechanischen Eigenschaften des Gussteils erheblich verschlechtern.

[0007] Bei allen oben genannten Al-Gusslegierungen bilden sich zwar über eine Wärmebehandlung festigkeitssteigernde Mg_2Si - und Al_2Cu -Ausscheidungen, jedoch sind diese oberhalb 150 °C nicht stabil und daher den thermomechanischen Belastungen moderner Motoren nicht gewachsen. Dagegen bleiben die intermetallischen Phasen, wie Al_6Mn , Al_3Fe , Al_7Cr , Al_3Ni , Al_8Fe_2Si , Al_7Cu_4Ni , $Al_{15}Mn_3Si_2$, Al_5FeSi , Al_3Ti und Al_3Zr bei thermischer Langzeitbeanspruchung unbeeinflusst und können bei günstiger Ausbildung (in Menge, Größe, Form und Verteilung) einen erheblichen Beitrag zur Steigerung der mechanischen Eigenschaften der Al-Si-Legierungen für den Motorenbau leisten. Dabei ist jedoch von besonderer Bedeutung, dass die homogene Verteilung und feine Ausbildung der intermetallischen Phasen im Gussgefüge gewährleistet wird, um die Duktilität der Legierung und ihre gießtechnologischen Eigenschaften nicht zu beeinträchtigen.

[0008] Im Patent DE 101 17 298 C1 wird eine Möglichkeit zur Gefügemodifizierung der Al-Si-Basislegierung durch Zugabe von bis zu 3 Gew.-% Seltenen Erden offenbart. Die Zusätze an Seltenen Erden bewirken eine wesentliche Feinung der intermetallischen Phasen, die eine erhebliche Verbesserung der mechanischen Eigenschaften insbesondere Dauerfestigkeit bei erhöhten Temperaturen, zur Folge hat. Die Seltenen Erden sind jedoch sehr teuer und werden in der Praxis selten eingesetzt.

[0009] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine für die Herstellung von Motorenkomponenten geeignete Legierung bereitzustellen, die eine hohe Festigkeit, Warmfestigkeit, gute Kriechfestigkeit sowie ausreichende Duktilität bei gleichzeitig geringer Korrosionsanfälligkeit aufweist und zudem preiswert ist.

[0010] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die gezielte Einstellung von Kohlenstoff in den Al-Si-Legierungen in wirksamen Mengen von 0,0007 bis 0,1 Gew.-%, bevorzugt von 0,0007 bis 0,05 Gew.-%, weiter bevorzugt 0,001 bis 0,05 Gew.-%, weiter bevorzugt 0,001 bis 0,01 Gew.-%, weiter bevorzugt 0,001 bis 0,005 Gew.-% gelöst.

[0011] Die Aluminium-Silizium-Legierung nach der Erfindung besitzt demnach folgende Zusammensetzung:

- 5 bis 25 Gew.-% Silizium,
- 0,0007 bis 0,1 Gew.-% Kohlenstoff,
- jeweils 0 bis 4 Gew.-% der folgenden Legierungsbestandteile, wobei bevorzugt wenigstens einer dieser Bestandteile vorhanden ist und deren Summe bis 10 Gew.-%, vorzugsweise bis 6 Gew.-%, weiter vorzugsweise bis 4 Gew.-% beträgt:

Magnesium, Mangan, Eisen, Kobalt, Kupfer, Zink, Nickel, Vanadium, Niob, Molybdän, Chrom, Wolfram, Beryllium, Blei, Lithium, Yttrium, Cer, Scandium, Hafnium, Silber, Zirkonium, Titan, Bor, Strontium, Natrium, Kalium, Calcium, Antimon, Schwefel, Barium, Phosphor,

- und als Rest auf 100 Gew.-% wenigstens 65 Gew.-% Aluminium einschließlich unvermeidbarer Verunreinigungen, wobei es sich insgesamt um eine Gusslegierung handeln soll.

[0012] Vorzugsweise enthält die Aluminium-Silizium-Gusslegierung 5 bis 18 Gew.-%, insbesondere 12,5 bis 14,5 Gew.-% Silizium.

[0013] Weiterhin kann es vorteilhaft sein, wenn weitere Elemente in der Legierung vorhanden sind, wie oben angegeben. Hierbei handelt es sich um Zusätze, die im Vergleich mit Aluminium und Silizium in untergeordneter Menge beigegeben wurden. So können beispielsweise die folgenden Mengen an zusätzlichen Legierungsbestandteilen für das gewünschte Eigenschaftsprofil von Vorteil sein:

0,1 bis 1,5 Gew.-%, insbesondere 0,1 bis 0,6 Gew.-% Magnesium;
 0,001 bis 0,5 Gew.-%, insbesondere 0,001 bis 0,3 Gew.-% Titan;
 0,001 bis 0,7 Gew.-%, insbesondere 0,001 bis 0,4 Gew.-% Zirkonium;
 0,001 bis 1,2 Gew.-%, insbesondere 0,001 bis 0,6 Gew.-% Mangan;
 0,001 bis 2,5 Gew.-%, insbesondere 0,3 bis 0,8 Gew.-% Eisen;
 0,001 bis 0,5 Gew.-%, insbesondere 0,1 bis 0,4 Gew.-% Kobalt;
 0,001 bis 0,5 Gew.-%, insbesondere 0,1 bis 0,4 Gew.-% Chrom;
 0,0001 bis 0,1 Gew.-%, insbesondere 0,005 bis 0,01 Gew.-% Beryllium;
 0,001 bis 2 Gew.-%, insbesondere 0,1 bis 1,5 Gew.-% Zink;
 0,001 bis 4 Gew.-%, insbesondere 0,3 bis 1,8 Gew.-% Kupfer;
 0,001 bis 4 Gew.-%, insbesondere 0,3 bis 3,0 Gew.-% Nickel;
 0,001 bis 0,4 Gew.-%, insbesondere 0,05 bis 0,2 Gew.-% Vanadium;
 0,0001 bis 1,2 Gew.-%, insbesondere 0,005 bis 0,5 Gew.-% Hafnium;
 0,0001 bis 0,6 Gew.-%, insbesondere 0,005 bis 0,4 Gew.-% Niob;
 0,0001 bis 0,4 Gew.-%, insbesondere 0,005 bis 0,2 Gew.-% Blei;
 0,0001 bis 0,08 Gew.-%, insbesondere 0,005 bis 0,04 Gew.-% Strontium;
 0,0001 bis 0,2 Gew.-%, insbesondere 0,002 bis 0,02 Gew.-% Natrium;
 0,0001 bis 0,006 Gew.-%, insbesondere 0,002 bis 0,004 Gew.-% Calcium;
 0,0001 bis 0,08 Gew.-%, insbesondere 0,01 bis 0,06 Gew.-% Bor;
 0,0001 bis 0,4 Gew.-%, insbesondere 0,05 bis 0,3 Gew.-% Cer;
 0,0001 bis 0,6 Gew.-%, insbesondere 0,05 bis 0,3 Gew.-% Scandium;
 0,0001 bis 0,1 Gew.-%, insbesondere 0,001 bis 0,01 Gew.-% Phosphor.

[0014] Die Aluminium-Silizium-Gusslegierung nach der Erfindung zeichnet sich vorzugsweise dadurch aus, dass in ihrem Gefüge feines Primärsilizium (kleiner als 50 μm) und veredeltes Eutektikum gleichzeitig vorliegen, wie anhand des Schliffbildes zu erkennen ist. Dieser Zustand ist bei nah- und übereutektischen Al-Si-Legierungen besonders anzustreben.

[0015] Der Veredelungsgrad des Eutektikums kann vom Gießereifachmann anhand der Ausbildungsformen der eutektischen Silizium-Ausscheidungen visuell - beispielsweise mit Hilfe von Schliffbildern - beurteilt werden. Für die visuelle Beurteilung siehe auch "Gießerei-Praxis" Nr. 11/12 - 1993, Seite 206 - 209, G. Chai, L. Bäckerud, "Wirksame Veredelung mit Strontium".

[0016] Die modifizierende Wirkung des Kohlenstoffs auf Gefüge und Eigenschaften der Al-Si-Legierungen war bis zur Erfindung nicht bekannt. Es hat sich gezeigt, dass der erfindungsgemäße Kohlenstoffgehalt eine Änderung des gesamten Erstarrungsverhaltens der Al-Si-Gusslegierungen bewirkt und eine ausgezeichnet Gefügemodifizierung mit sich bringt. Als wesentliche Merkmale der Gefügemodifizierung durch Kohlenstoff sind eine erhebliche Feinung und homogene Verteilung der intermetallischen Phasen, eine gute Veredelung des Al-Si-Eutektikums und gute Feinung der Primärsiliziumkristalle zu nennen. Das hat eine deutliche Verbesserung der mechanischen und gießtechnologischen Eigenschaften zur Folge.

[0017] Durch Einstellung des erfindungsgemäßen Kohlenstoffgehaltes ist es auch möglich, die Konzentrationsgrenzen wichtiger Legierungskomponenten, wie Titan, Zirkonium, Eisen, Mangan, Chrom, Kobalt, Molybdän und je nach Anwendungsfall anderer Übergangselemente, zu höheren Werten zu verschieben, ohne Legierungsqualität dabei zu beeinträchtigen.

[0018] Zum Beispiel bilden sich bei bekannten Al-Si-Legierungen mit Zirkonium-Gehalten von über 0,3 Gew.-%, Titan-Gehalten von über 0,3 Gew.-% oder Eisengehalten von über 0,6 Gew.-% im Gefüge sehr lange nadelförmige spröde Phasen.

Die Bildung dieser groben intermetallischen Phasen, wie sie bei den konventionellen Aluminiumlegierungen zu erwarten wäre, d. h. vor allem langer Nadeln intermetallischer Phasen mit Übergangselementen wie z. B. Al_3Zr , Al_3Ti und Al_5FeSi , wird durch Kohlenstoff unterdrückt. Die für hohe Gehalte an Übergangselementen typischen sehr langen nadelförmigen

intermetallischen Phasen erscheinen in den kohlenstoffhaltigen Al-Si-Legierungen meist als "Chinesische Schrift" bzw. als kleine Plättchen bis zu maximal 30 - 40 μm Länge. Dies bringt wesentliche Vorteile mit sich, wie z. B. eine erhebliche Verbesserung der Kornfeinungswirkung der Übergangselemente, sowie eine deutliche Steigerung der mechanischen Eigenschaften, Warm-, Kriech- und Dauerfestigkeit der erfindungsgemäßen Legierung. Beim Gießen zeigt die Schmelze ein deutlich verbessertes Formfüllungs- und Fließverhalten, und an den fertigen Gussteilen kann eine merklich erhöhte Gussqualität und insbesondere eine wesentlich geringere Gasporosität nachgewiesen werden.

[0019] Bei übereutektischen Al-Si-Legierungen ist die gleichzeitige Feinung des primären Siliziums, die Veredelung des eutektischen Siliziums sowie die möglichst kleine Ausbildung und homogene Verteilung der intermetallischen Phasen für die Einstellung des gewünschten Eigenschaftsprofils besonders wichtig. Diese seit langem angestrebte Modifizierung der Gefüge konnte bisher nicht erzielt werden, da sich die Wirkungen von Strontium und Phosphor gegenseitig aufheben. Durch Zulegieren der naheutektischen und übereutektischen Al-Si-Legierungen (besonders für Kolben und Motorblöcke) mit dem Kohlenstoff bei gleichzeitiger Zugabe von bis zu 100 ppm Phosphor ist es gelungen, die gewünschte kombinierte Gefügebeeinflussung zu erreichen.

[0020] Zur Verarbeitung der erfindungsgemäßen Legierung sind grundsätzlich alle Gießverfahren geeignet. Hierzu gehören u. a. Sandguss, Vollformguss, Schwerkraft-Kokillenguss, Niederdruck-Kokillenguss, Differenzdruck-Kokillenguss, Druckguss und Vakuum-Druckguss.

[0021] Für die Herstellung der erfindungsgemäßen Aluminium-Silizium-Gusslegierung ist vorzugsweise vorgesehen, dass die für die Zusammensetzung ausgewählten Grundbestandteile gemeinsam erschmolzen werden. Die Schmelztemperatur beträgt vorzugsweise von 650 °C bis 1000 °C, weiter vorzugsweise von 720 °C bis 950 °C. Anschließend wird in eine Gussform abgegossen. "Gemeinsam erschmolzen" erfasst auch das allmähliche Zudosieren aller Bestandteile in eine gemeinsame Schmelze. Kohlenstoff kann als elementarer Kohlenstoff, z.B. Graphit, aber auch in Form einer Verbindung oder Vorlegierung zugegeben werden.

[0022] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform wird der Kohlenstoffgehalt insbesondere dadurch erzielt, dass chemische Kohlenstoffverbindungen und/oder ihre Mischungen zugegeben werden. Dies kann auch erfolgen, indem pulverförmige Karbide und Karbonitride, auch in Form eines Sinterproduktes aus Karbiden und Karbonitriden zugegeben werden.

[0023] Alternativ kann eine kohlenstoffhaltige Aluminium-Vorlegierung in die Schmelze aus den übrigen für die Legierung vorgesehenen Bestandteilen eingebracht oder vorab den einzuschmelzenden Bestandteilen hinzugefügt werden.

[0024] Die kohlenstoffhaltigen Zusätze können neben Kohlenstoff auch Phosphor und/oder Stickstoff enthalten.

[0025] Ein besonders bevorzugtes Verfahren nach dieser Erfindung besteht darin, eine Aluminium-Titan-Kohlenstoff-Vorlegierung zu verwenden.

[0026] Zwar ist aus der DE 37 29 937 A1 bereits eine Kornfeinung mit Al-Ti-C-Legierungen bekannt, diese bezieht sich jedoch ausdrücklich auf Al-Ti-Hauptlegierungen. Dabei werden lange bekannte Schwierigkeiten bei der Erhöhung des Kohlenstoffgehalts von Aluminium-Titan-Legierungen darauf zurückgeführt, dass es in diesen Zusammensetzungen schwierig ist, eine Benetzung zwischen dem Kohlenstoff und dem geschmolzenen Aluminium zu erzielen. Die beschriebenen Vorlegierungen sind bei der Herstellung von dünnem Flachmaterial, Folien oder Dosenmaterial besonders nützlich.

[0027] Auch ist die Zugabe von kohlenstoffhaltigen Vorlegierungen zu Reinaluminium und Aluminiumknetlegierungen mit dem Ziel der Kornfeinung als solches bekannt, wie z.B. in "Z. Metallkd. 91 (2000) Heft 10, S. 800 - 806 beschrieben. Die Wirkung von bekannten Al-Ti-C-Vorlegierungen beruht auf dem Einbringen von TiC-Teilchen, die als Keimbildner für den $\square$ -Mischkristall dienen, in die Schmelze und erfordert nach dem Stand der Technik eine strenge Einhaltung bestimmter Parameter bei der Schmelzeführung, wie z. B. möglichst niedrige Schmelzetemperaturen und möglichst kleine Siliziumgehalte, um die Stabilität der TiC-Partikel in der Schmelze zu gewährleisten und ihre Reaktion mit den anderen Legierungskomponenten zu vermeiden. Bei Silizium-Gehalten von über 3 Gew.-% kommt es nach Angaben von Greer u. a. (Advanced Engineering Materials (2003) Nr. 1-2, Seiten 81 - 91 und "Continuous Casting, Ed. by K Ehrke and W. Schneider, DGM (2000), A. Tronche and A. L. Greer, "Effect of Solute Elements on the Grain Structures of Al-Ti-P and Al-Ti-C Grain-Refined Al Alloys", S. 218-222; 221, 222) zur Vergiftung von TiC durch Silizium, so dass die Kornfeinungswirkung von TiC auf die $\square$ -Aluminium-Mischkristallphase bei der Al-Si-Gusslegierungen verhindert wird. Die Wirkung des Kohlenstoffs auf die intermetallischen Verbindungen, das Primärsilizium sowie die eutektischen Phasen in Al-Si-Gusslegierungen ohne Auswirkung auf die $\square$ -Mischkristallphase (d.h. ohne Kornfeinungswirkung durch Kohlenstoff oder das Karbid in dieser Phase) war bisher nicht bekannt.

[0028] Obwohl im Gusszustand schon gute mechanische Werte vorhanden sind können aus der erfindungsgemäßen Legierung hergestellte Gussteile allen Wärmebehandlungen unterzogen werden.

[0029] Die erfindungsgemäßen Aluminium-Silizium-Gusslegierungen sind zum Gießen von Kolben und anderen Maschinenteilen für Verbrennungskraftmaschinen, für Zylinderköpfe, Kurbelgehäuse, Lauffbuchsen oder Motorblöcke besonders geeignet. Die Lösung der Aufgabe der Erfindung umfasst daher auch diese Verwendungen.

[0030] Unter Bezugnahme auf die Figuren und Beispiele soll die Erfindung näher illustriert werden, ohne dass die

Beispiele beschränkend zu verstehen wären. Der Fachmann kann die Erfindung mit Hilfe dessen, was in Beispielen und Figuren anschaulich erläutert ist, ohne weiteres im gesamten oben angegebenen Umfang ausführen.

[0031] Es zeigen:

5 Fig. 1 zeigt das Mikrogefüge einer AlSi12CuNiMg-Sekundärlegierung, x 500

Fig. 2 zeigt das Mikrogefüge einer erfindungsgemäß legierten AlSi12CuNiMg-Sekundärlegierung unter Zugabe von Kohlenstoff, x 500

10 Fig. 3 zeigt das Mikrogefüge einer AlSi14Cu3Mg-Legierung mit Phosphorzugabe, x 100

Fig. 4 zeigt das Mikrogefüge einer erfindungsgemäß legierten AlSi14Cu3Mg-Legierung unter Zugabe von Kohlenstoff und Phosphor, x 100

15 (Maßstab in den Figuren = 50 µm)

Beispiel 1

Naheutektische Al-Si-Gusslegierung mit Kohlenstoff

20 [0032] Stellvertretend für die große Gruppe der Al-Si-Gusslegierung wurden die Sekundärlegierung AlSi12CuNiMg ausgewählt. Die Versuchslegierung wurde in zylindrischer Probekörper mit einer Gießtemperatur von 780 °C in eine geschlichtete auf 300 °C erwärmte Stahlkokille. Die Zugabe von Kohlenstoff erfolgte mit Hilfe der selbst hergestellten Al-Ti-C-Vorlegierung.

25 [0033] Zur Herstellung der AlTi6C1-Vorlegierung kam ein Mittelfrequenz-Induktionsofen zum Einsatz. In einem Graphittiegel wurde zunächst 2000 g AlTi6-Vorlegierung bei 1400 °C erschmolzen. Dieser Schmelze wurde 30 g Graphitpulver, eingewickelt in Aluminiumfolie, zugegeben. Der Abguss der so hergestellten Al-Ti-C-Vorlegierung erfolgte nach einer Haltezeit von etwa 30 in eine Kupferform. Die Vorlegierung besteht aus einer Aluminium-Matrix, in der Al₃Ti- und TiC-Teilchen eingelagert sind.

30 [0034] Die Tabelle 1 zeigt die Zusammensetzung der untersuchten Legierungen.

Tabelle 1. Zusammensetzung der Al-Si-Gusslegierung, Gew.-%

	Si	C	Cu	Ni	Mg	Fe	Mn	Cr	Ti	Zn
35 Erfg. Leg. 1	12,4	0,003	1,3	0,8	1,4	1,2	0,3	0,15	0,07	0,3
Vergl. Leg. 2	12,6	-	1,5	0,9	1,6	1,3	0,4	0,13	0,05	0,4

[0035] Die Ergebnisse der metallographischen Untersuchungen sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

40 Tabelle 2. Veredelungsgrad und Länge der intermetallischen Teilchen in der untersuchten Legierung AlSi12CuNiMg

	Veredelungsgrad	Länge der intermetallischen Teilchen, µm
45 Erfg. Leg. 1	Grad 6: gut veredelt	20-30
Vergl. Leg. 2	Grad 3: teilveredelt	100-600

50 [0036] Die Sekundärlegierung AlSi12CuNiMg weist im Gussgefüge sehr grobe nadelförmige eisenhaltige Phasen (vorwiegend Al₅FeSi-Nadeln) aus, Fig. 1. Dagegen bewirkt Zulegieren mit dem Kohlenstoff sowohl ein gut veredeltes Eutektikum als auch Ausscheidungen kleiner intermetallischer Phasen in einer sehr gleichmäßigen Verteilung, Fig. 2.

Beispiel 2

Übereutektische Al-Si-Legierung mit Kohlenstoff

55 [0037] In diesem Beispiel ist eine übereutektische Al-Si-Gusslegierung mit der erfindungsgemäßen Legierung mit einer annähernd gleichen Zusammensetzung verglichen wurde, Tabelle 3. Beide Legierungen wurden mit einer gleichen Menge Phosphor behandelt.

Tabelle 3. Zusammensetzung der übereutektische Al-Si-Gusslegierungen, Gew.-%

	Si	Cu	C	Mg	Fe	Mn	Ti	Zn	P
Erfg. Leg. 3	14,1	3,7	0,02	0,33	0,94	0,29	0,21	0,33	0,006
Vergl. Leg. 4	14,6	4,1	-	0,32	0,73	0,28	0,22	0,35	0,006

[0038] Eine gleichzeitige Feinung des Primärsiliziums und des Al-Si-Eutektikums war bisher nicht möglich, Fig. 3. Unsere Ergebnisse zeigen, dass sich Phosphor und Kohlenstoff in ihrer Wirkung nicht gegenseitig behindern. Auf dem Bild 4 ist es zu sehen, dass bei einem Kohlenstoffgehalt von 0,005 Gew.-% eine gute Feinung des primären Siliziums sowie einen akzeptablen Veredelungsgrad des eutektischen Siliziums erreicht werden kann. Auch die kompakte Ausbildung und homogene Verteilung der intermetallischen Phasen in der erfindungsgemäßen Legierung ist von großem technologischem Vorteil.

Beispiel 3

Verbesserung der mechanischen Eigenschaften der Al-Si-Gusslegierungen

[0039] Den positiven Einfluss von Kohlenstoff auf Al-Si-Legierungen geben auch die bereits im Gusszustand erzielten mechanischen Eigenschaften deutlich wieder, Tabelle 4 und Tabelle 5.

Tabelle 4. Chemische Zusammensetzung der untersuchten Legierungen

	Si	C	Cu	Ni	Mg	Fe	Mn	Zr	Ti	Zn
Erfg. Leg. 5	11,8	0,025	1,8	0,8	0,7	0,7	0,3	0,1	0,18	0,4
Vergl. Leg. 6	12,5	-	1,5	1,1	1,1	0,4	0,3	-	0,15	0,1

Tabelle 5. Vergleich der mechanischen Eigenschaften bei RT und 250 °C

	Mechanische Eigenschaften Prüfung bei RT			Mechanische Eigenschaften nach Vorauslagerung bei 250 °C/100 h Prüfung bei 250 °C		
	R _m , MPa	R _{p0,2} , MPa	A ₅ , %	R _m , MPa	R _{p0,2} , MPa	A ₅ , %
Erfg. Leg. 5, F	241	171	0,6	147	105	3,2
Vergl. Leg. 6, F	225	152	0,7	112	83	9,3
R _m - Zugfestigkeit (MPa); R _{p0,2} - Dehngrenze (MPa); A ₅ % - Bruchdehnung in %						

[0040] Die erfindungsgemäße Legierung 5 besitzt für eine Gusslegierung eine gute Festigkeit, wie sich aus den o. a. Tabellendaten ergibt. Die erfindungsgemäße Legierung 5 hat zusätzlich eine deutlich bessere Warmfestigkeit als die Vergleichslegierung 6, deren R_{p0,2}-Wert bei einer Messung der mechanischen Eigenschaften bei 250 °C nach Vorauslagerung bei 250 °C stark absinkt.

[0041] Unter "warmfest" verstehen wir hier eine Legierung, deren R_{p0,2}-Wert nach Vorauslagerung bei 250 °C über wenigstens 50 h, geprüft bei 250 °C, über 55 MPa beträgt.

Patentansprüche

1. Aluminium-Silizium-Gusslegierung mit 5 bis 25 Gew.-% Silizium und wenigstens 65 Gew.-% Aluminium als Hauptlegierungsbestandteilen sowie gegebenenfalls weiteren Bestandteilen und unvermeidbaren Verunreinigungen, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Legierung 0,0007 bis 0,1 Gew.-% Kohlenstoff enthält.
2. Aluminium-Silizium-Gusslegierung nach Anspruch 1 mit 5 bis 25 Gew.-% Silizium und 0,0007 bis 0,1 Gew.-% Kohlenstoff sowie jeweils bis 4 Gew.-% wenigstens eines der folgenden und in Summe bis 10 Gew.-% der folgenden

EP 1 978 120 A1

Legierungsbestandteile: Magnesium, Mangan, Eisen, Kobalt, Kupfer, Zink, Nickel, Vanadium, Niob, Molybdän, Chrom, Wolfram, Beryllium, Blei, Lithium, Yttrium, Cer, Scandium, Hafnium, Silber, Zirkonium, Titan, Bor, Strontium, Natrium, Kalium, Calcium, Antimon, Schwefel, Barium, Phosphor und als Rest wenigstens 65 Gew.-% Aluminium einschließlich unvermeidbarer Verunreinigungen.

- 5 3. Aluminium-Silizium-Gusslegierung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Legierung 5 bis 18 Gew.%, insbesondere 12,5 bis 14,5 Gew.-% Silizium enthält.
- 10 4. Aluminium-Silizium-Gusslegierung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** in ihrem Gefüge feines Primärsilizium und veredeltes Eutektikum gleichzeitig vorliegen.
- 5 5. Aluminium-Silizium-Gusslegierung nach einem der Ansprüche 2 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** in ihrem Gefüge intermetallische Phasen als Nadeln oder kleine Plättchen bis zu maximal 40 µm Länge vorhanden sind.
- 15 6. Aluminium-Silizium-Gusslegierung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, erhältlich durch gezielte Einstellung des Kohlenstoffgehaltes auf 0,0007 bis 0,1 Gew.-%.
- 20 7. Verfahren zur Herstellung einer Aluminium-Silizium-Gusslegierung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kohlenstoffgehalt durch Zugabe von Kohlenstoff in beliebiger Form gezielt eingestellt wird.
- 25 8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die für die Zusammensetzung ausgewählten Grundbestandteile gemeinsam erschmolzen, dabei auf eine Temperatur im Intervall von 650 °C bis 1.000 °C, vorzugsweise von 720 °C bis 950 °C erwärmt und in eine Gussform abgegossen werden.
- 30 9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kohlenstoffgehalt erzielt wird durch Zugabe von chemischen Kohlenstoffverbindungen und/oder ihren Mischungen, insbesondere durch Zugabe pulverförmiger Karbide und Karbonitride, auch in Form eines Sinterproduktes aus Karbiden und Karbonitriden.
- 35 10. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine kohlenstoffhaltige Aluminium-Vorlegierung in die Schmelze aus den übrigen für die Legierung vorgesehenen Bestandteilen eingebracht oder vorab den einzuschmelzenden Bestandteilen hinzugefügt wird.
- 40 11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Aluminium-Titan-Kohlenstoff-Vorlegierung verwendet wird.
- 45 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorlegierung neben Kohlenstoff auch Phosphor enthält.
- 50 13. Verwendung der Aluminium-Gusslegierung nach einem der Ansprüche 1 bis 6 zum Gießen von thermisch hochbelasteten Maschinenelementen, insbesondere Kolben, Zylinderköpfen, Kurbelgehäusen, Laufbuchsen oder Motorblöcken jeweils für Verbrennungskraftmaschinen.

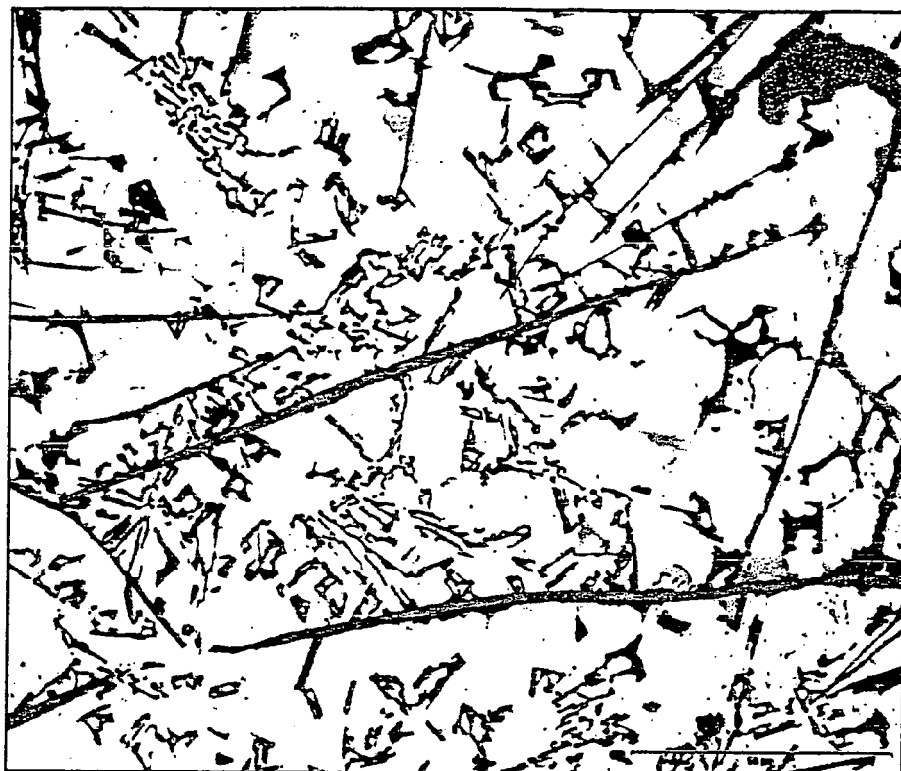


Fig. 1

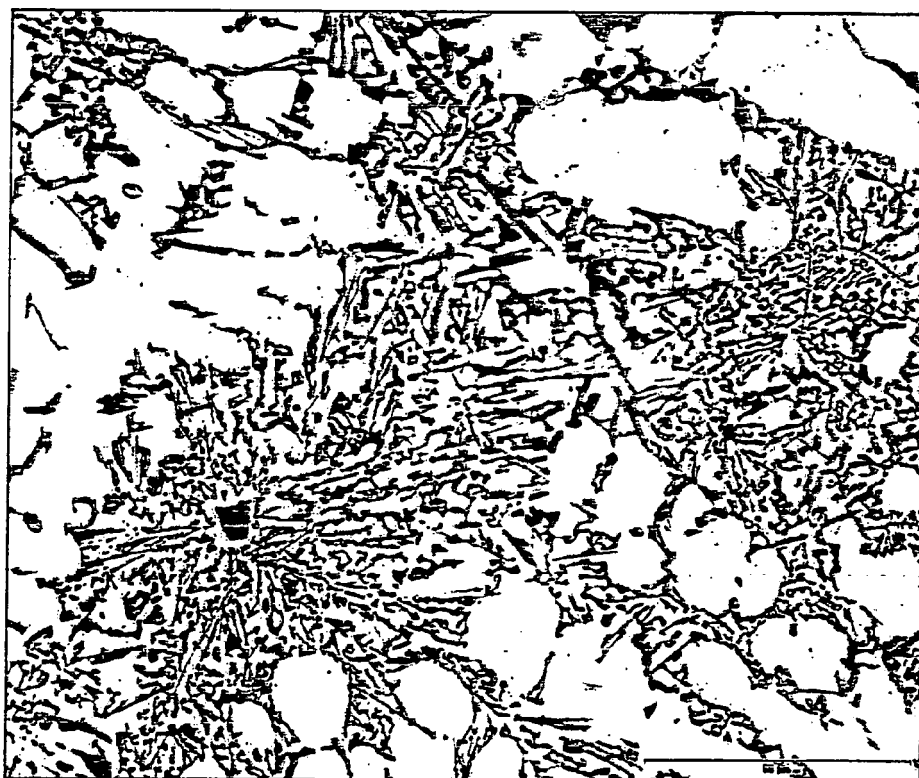


Fig. 2

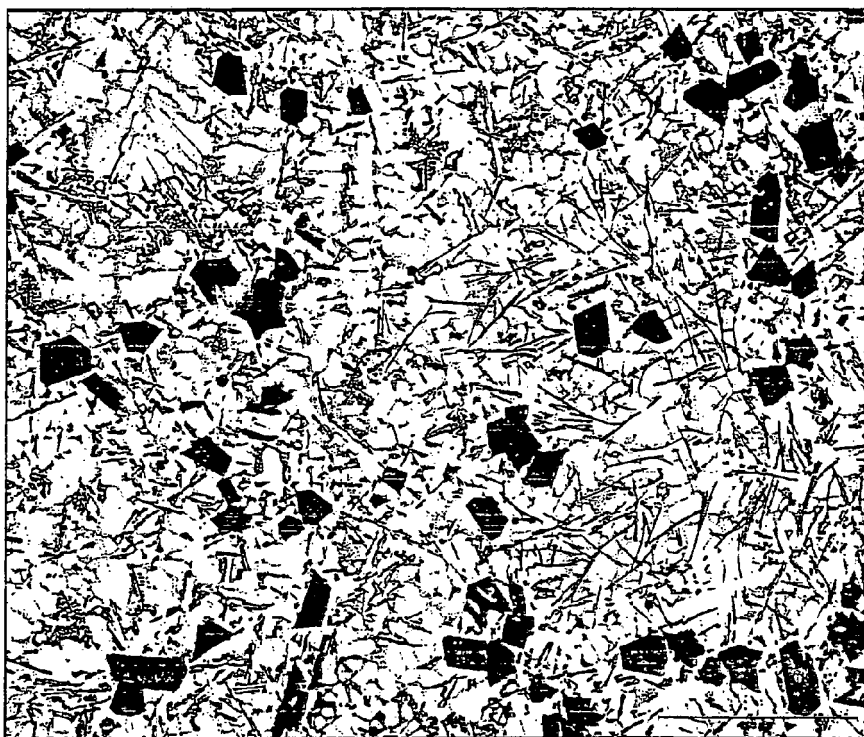


Fig. 3

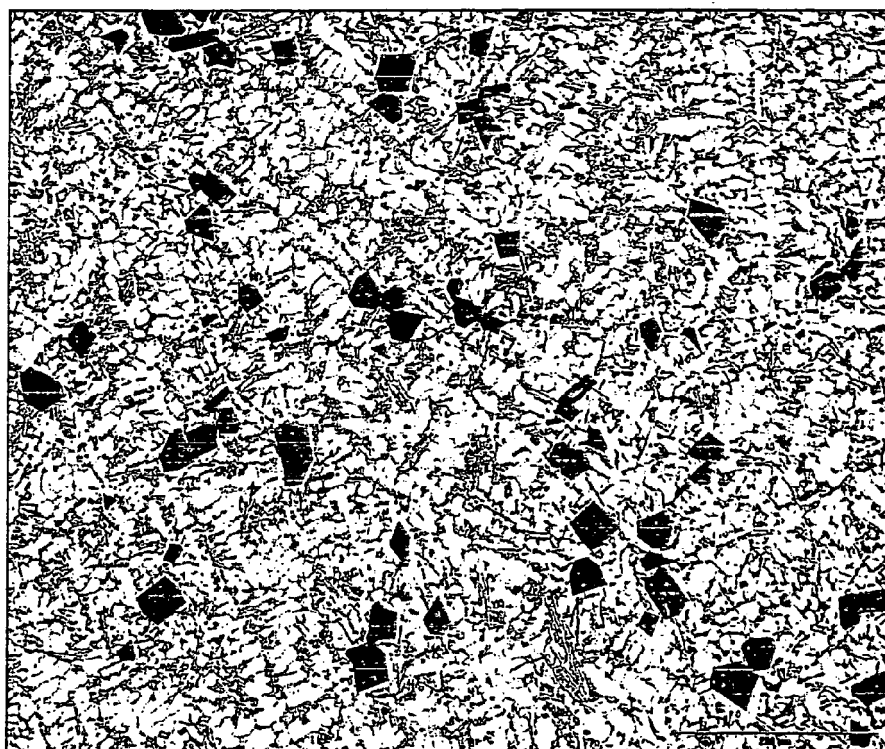


Fig. 4



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 08 07 5254

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	BELOV N, ESKIN D, AKSENOV A: "MULTICOMPONENT PHASE DIAGRAMS: APPLICATIONS FOR COMMERCIAL ALUMINUM ALLOYS" 2005, ELSEVIER, OXFORD, UK, XP009104020 ISBN: 0-080-44537-3 * Seite 341 - Seite 345 *	1-4,6-8	INV. C22C21/02
X,P	WO 2007/051162 A (ALCOA INC [US]; LIN JEN C [US]; MBAYE MOUSTAPHA [US]; LOELAND JAN OVE) 3. Mai 2007 (2007-05-03) * Ansprüche 1,3 *	1-4,6-8	
Y	CHUNGXIANG XU, LIPING LIANG, BINFENG LU, YONGJUNG XUE, JINSHAN ZHANG, LIANG WEI: "MODIFYING EFFECT OF AL-Ti-C-P MASTER ALLOY ON HYPEREUTECTIC AL-Si ALLOY" 2006 BEIJING INTERNATIONAL MATERIALS WEEK, 30. Juni 2006 (2006-06-30), Seiten 947-951, XP009103903 BEIJING * das ganze Dokument *	1-13	
Y	US 2005/238529 A1 (LIN JEN C [US] ET AL) 27. Oktober 2005 (2005-10-27) * Ansprüche 1,4 * * Absatz [0014] *	1-13	
A	EP 0 258 758 A (INCO ALLOYS INT [US]) 9. März 1988 (1988-03-09) * Ansprüche 1,3 *	1-13	
A	EP 0 180 144 A (INCO ALLOYS INT [US]) 7. Mai 1986 (1986-05-07) * Beispiel 8 *	1-13	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 29. Juli 2008	Prüfer González Junquera, J
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	

3
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 08 07 5254

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente 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.

29-07-2008

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2007051162 A	03-05-2007	US 2007125460 A1	07-06-2007
US 2005238529 A1	27-10-2005	AU 2005238478 A1	10-11-2005
		CA 2564078 A1	10-11-2005
		EP 1759028 A2	07-03-2007
		JP 2007534839 T	29-11-2007
		KR 20070009719 A	18-01-2007
		WO 2005106057 A2	10-11-2005
EP 0258758 A	09-03-1988	DE 3788387 D1	20-01-1994
		DE 3788387 T2	21-04-1994
		ES 2046980 T3	16-02-1994
		JP 63069937 A	30-03-1988
EP 0180144 A	07-05-1986	CA 1284896 C	18-06-1991
		DE 3576535 D1	19-04-1990

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

- US 6419769 B1 [0005]
- DE PS747355 C [0006]
- DE 10117298 C1 [0008]
- DE 3729937 A1 [0026]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- *Z. Metallkd.*, 2000, vol. 91, 800-806 [0027]
- *Advanced Engeneering Materials*, 2003, 81-91 [0027]
- Continuous Casting. DGM. 2000 [0027]
- **A. TRONCHE ; A. L. GREER.** *Effect of Solute Elements on the Grain Structures of Al-Ti-P and Al-Ti-C Grain-Refined Al Alloys*, vol. 221, 218-222 [0027]